

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Geschäftsführender Direktor: Professor Dr. W. Schuster

Der Einfluß der SO₂-Immission
auf Kulturpflanzen
im Bereich einer Emissionsquelle

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich „Angewandte Biologie“
der Justus Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
Hadi Boluri
geboren in Rascht/Iran

Gießen 1974

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Geschäftsführender Direktor: Professor Dr. W. Schuster

Der Einfluß der SO_2 -Immission
auf Kulturpflanzen
im Bereich einer Emissionsquelle

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich „Angewandte Biologie“
der Justus Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
Hadi Boluri
geboren in Rascht/Iran

Gießen 1974

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Gesellschaftslehrender Direktor: Professor Dr. W. Schuster

Der Einfluß der SO_2 -Immission
auf Kulturpflanzen
im Bereich einer Emissionsquelle

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich Angewandte Biologie
der Justus Liebig-Universität Gießen



Dekan:

Prof. Dr. W. Schuster

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. E. von Boguslawski
2. Berichterstatter: Prof. Dr. L. Steubing

Tag der mündlichen Prüfung: 6. Juli 1974

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. <u>Einleitung</u>	
Einführende Literatur und Problemstellung	1
2. <u>Methodik</u>	16
2.1. <u>Durchführung der Vegetationsversuche 1971 und 1972</u>	16
2.1.1. Charakterisierung der Versuchsstandorte	16
2.1.2. Beschreibung der Versuchsanlage	16
2.1.3. Vegetationsbeobachtungen und Erntezeitpunkte	20
2.2. <u>Analysenmethoden zur Schwefel- u. Proteinbestimmung</u>	24
2.2.1. Bestimmung des org. und anorg. gebundenen Schwefels	24
2.2.2. Bestimmung von Roh- und Reinprotein	25
3. <u>V Versuchsergebnisse</u>	26
3.1. <u>Hafer 1971 und 1972</u>	26
3.1.1. Erträge	26
3.1.2. Schwefel- und Proteingehalte	33
3.1.2.1. Org. gebundener Schwefel	33
3.1.2.2. Anorg. gebundener Schwefel	44
3.1.2.3. Gesamtschwefel	55
3.1.2.4. Roh- und Reinprotein	65
3.1.3. Schwefelaufnahme	74
3.1.4. Roh- und Reinproteinerträge	83
3.2. <u>Buschbohnen 1971</u>	93
3.2.1. Erträge	93
3.2.2. Schwefelgehalte	95
3.2.2.1. Org. gebundener Schwefel	95
3.2.2.2. Anorg. gebundener Schwefel	97
3.2.2.3. Gesamtschwefel	99
3.2.3. Schwefelaufnahme	101
3.3. <u>Weidelgras 1972</u>	103
3.3.1. Erträge	103
3.3.2. Schwefel- und Proteingehalte	105

	Seite
3.3.2.1. Org. gebundener Schwefel	105
3.3.2.2. Anorg. gebundener Schwefel	107
3.3.2.3. Gesamtschwefel	109
3.3.2.4. Roh- und Reinprotein	111
3.3.3. Schwefelaufnahme	113
3.3.4. Roh- und Reinproteinerträge	115
4. <u>Diskussion</u>	117
5. <u>Zusammenfassung und Schlußbetrachtung</u>	143
6. <u>Literaturübersicht</u>	146

1. Einleitung

Einführende Literatur und Problemstellung

Die Luftverunreinigung, die durch Rauch und Abgase verursacht wird, ist kein Problem der Neuzeit. Die Klagen über die Beeinträchtigungen und schädlichen Einwirkungen auf die belebte Natur sind so alt wie die Verbrennung der Kohle (ZIEGER 1954/55, GUDERIAN 1960, GARBER 1967, HERMANN 1972). Aus einer ganzen Reihe von Literaturstellen läßt sich entnehmen, daß man sich bereits seit dem 13. Jahrhundert mit Problemen der Luftverunreinigung beschäftigte. So ist z.B. bekannt, daß im Jahre 1237 in London unter EDUARD I. ein Verbot erging, während der Parlamentstagung Kohle zu verbrennen und außerdem wurde der Regierungssitz wegen unreiner Luft nach Nottingham verlegt (JÜGELT 1960).

In Deutschland wurde 1240 durch Kaiser FRIEDRICH II. eine Verordnung über die Reinhaltung der Luft, der Gewässer und des Bodens erlassen und die Verunreinigung der Luft in der Nähe von Wohngebieten unter Strafe gestellt (FISCHER 1933). Ein Jahrhundert später (1348) untersagte die Stadt Zwickau den Schmieden, innerhalb der Stadtmauern Steinkohle zu verbrennen. Im Jahre 1464 wurde in der Stadt Köln eine Schmelze der Kupfer- und Bleihütten geschlossen, weil die Dämpfe die Vegetation schädigten (GARBER 1967).

Auch aus den folgenden Jahrhunderten des Mittelalters sind sowohl in England als auch in Deutschland (besonders Sachsen) verschiedene größere Rauchschäden in Wäldern bekannt geworden, die durch Hüttenwerke oder ähnliche Anlagen verursacht wurden (ZIEGER 1954/55).

Außer den oben genannten Maßnahmen und Gesetzgebungen erfolgte 1550 in Deutschland die erste Verhütungsmaßnahme gegen den Rauch durch Einbau von Rauch- und Flugstaubkammern bei den Joachimsthaler Hütten.

Die genannten historischen Schadensfälle, die aus zahlreichen Literaturstellen zu entnehmen sind, hatten aber nur lokale und eng begrenzte Bedeutung. Rauchschäden über größere Gebiete, die eine ständige Beeinträchtigung der belebten Natur zur Folge haben, treten erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts auf und sind in den letzten 100 Jahren zu einem echten Problem geworden.

Die Luftverunreinigungen, die durch rasch fortschreitende Industrialisierung und Technisierung der Erde, aufgrund des ständig steigenden Bedarfs des Menschen an Energie und Industrieprodukten, entstanden sind, haben jedoch einen Umfang erreicht, der in zunehmendem Maße Gefahren für den Menschen, das Tierreich und die Vegetation mit sich bringt (BERGE, DAHMEN 1959, GUDERIAN 1960, 1966, 1970, ZAHN 1963, BROCKE, SCHADE 1971).

Die eigentliche Forschung über die Wirkung der luftverunreinigenden Stoffe auf die land- und forstwirtschaftliche Pflanze begann in Deutschland um die Mitte des 19. Jahrhunderts in der Forstlichen Hochschule Tharandt in Sachsen, wo der Grundstein für die spätere Rauchschadensforschung gelegt wurde. Im Jahre 1850 veröffentlichte STÖCKHARDT eine Untersuchung über die Einwirkung des Rauches von Silberhütten auf die benachbarte Vegetation, und in einer späteren Arbeit (1871) berichtete er über die schädliche Einwirkung des Hütten- und Steinkohlenrauches auf das Wachstum der Pflanzen, insbesondere von Fichten und Tannen.

Die Schadbilder, die an der Vegetation beobachtet wurden, wurden von vielen Autoren und Wissenschaftlern unter dem Sammelbegriff "Rauchschäden" zusammengefaßt, wobei die Wirkung aller verunreinigenden Stoffe in der Luft, wie Rauch, Gase, Dämpfe, Nebel und verschiedenartige Stäube gemeint waren.

Eine genauere und umfassendere Definition der durch Luftverunreinigungen hervorgerufenen Schädigung der Umwelt wurde von GUDERIAN, VAN HAUT und STRATMANN 1960 gegeben, die den Ausdruck Immissionsschäden prägten, in dem alle Einzel- und Komplexwirkungen zusammengefaßt sind.

Man hat früher die Art der Schädigungen, die durch Luftverunreinigungen an Pflanzen auftreten, in akute, chronische und unsichtbare Schäden eingeteilt. Nach neueren Definitionen, die GUDERIAN, VAN HAUT und STRATMANN 1960 in diesem Sinne gegeben haben, sollen als Schäden nur Schädigungen und Störungen bezeichnet werden, die den ideellen oder wirtschaftlichen Nutzungswert einer Pflanze beeinträchtigen.

Die Art der Schädigungen ist in Abb. 1 wiedergegeben:

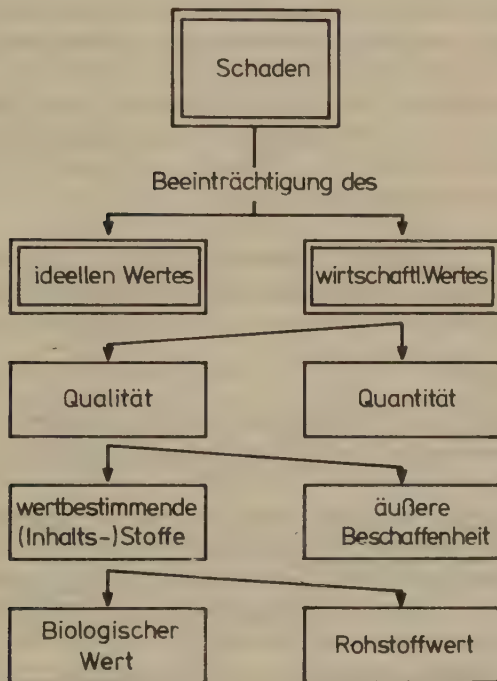


Abb. 1 : Mögliche Schäden durch Luftverunreinigungen an der Vegetation (nach GUDERIAN, VAN HAUT und STRATMANN 1960)

Seit mehreren Jahrzehnten ist bekannt, daß die Pflanzen aufgrund ihrer Unbeweglichkeit auf die luftverunreinigenden Stoffe außerordentlich empfindlich reagieren, empfindlicher als Tiere und Menschen (EGLE 1961, SCHÖNBECK, BUCK, VAN HAUT und SCHOLL 1970, VAN HAUT 1972). Daraus ergibt sich die Eignung verschiedener Pflanzen, als biologischer Indikator bei der Beurteilung und Erforschung von Immissionen zu dienen. Umfangreiche Untersuchungen, insbesondere von (SCHÖNBECK 1968 und 1969, STEUBING 1970, KLEE 1970, KIRSCHBAUM, KLEE 1971, KIRSCHBAUM, KLEE, STEUBING 1971, KLEE, WARNS 1971, ROSE, HAWKSWORTH 1971, STEUBING 1973) haben ergeben, daß gerade Flechten als Bioindikatoren für den Nachweis von Luftverunreinigungen (vorwiegend SO_2) sehr gut geeignet sind, und haben zur Entwicklung einer Methode geführt, mit der es möglich ist, Stadtbezirke und Industriegebiete zu überwachen. Von 50 verschiedenen Flechtenarten als Testorganismen hat sich besonders die Blattflechte *Parmelia physodes* in bisherigen Untersuchungen bewährt.

Neben einer allgemeinen Empfindlichkeit der Pflanzen gegen Luftverunreinigungen wurden auch häufig spezifische Reaktionen gegenüber bestimmten Elementen und Verbindungen nachgewiesen (EGLE 1961, VAN HAUT 1972).

Viele Autoren sind der Meinung, daß der gasförmige Anteil der luftverunreinigenden Stoffe der Pflanzenwelt mehr Schaden bringen kann als die Feststoffe. Somit ist es verständlich, daß gerade über die Auswirkung gasförmiger Schwefelverbindungen, als einer der Hauptkomponenten in den Rauchgasen von fossilen Brennstoffen in den Industrieländern, insbesondere in der Bundesrepublik Deutschland, länger und intensiver als über die der anderen Schadstoffe geforscht und gearbeitet wird (STOKLASA 1923, HASELHOFF 1932, BERGE, DAHMAN 1959, THOMAS 1964).

Der Schwefelkreislauf der Erde beträgt, nach Berechnungen von ERIKSSON 1959/60 und JUNGE 1960, 365 Mill. Tonnen Schwefel im Jahr.

Die belastenden Stoffe der Luft in der Bundesrepublik Deutschland zum jetzigen Zeitpunkt werden insgesamt mit 30 Mill. Tonnen im Jahr angegeben (STRATMANN 1971). Die verschiedenen Stoffe haben daran folgende Anteile:

Tab. 1 : Anteile verschiedener Stoffe an der Belastung der Atmosphäre

Art des Stoffes	10^6 t/Jahr
Kohlenmonoxid	15,0
Schwefeldioxid	5,0
Kohlenwasserstoff	4,8
Schwebstoff	4,0
Stickoxide	2,0
Summe	30,8

Durch eine einfache Umrechnung aus der in Tab. 1 genannten Gesamtbelastung entfällt auf einen km^2 eine mittlere Jahresimmission von 120 t. Nach Angabe von STRATMANN muß für Ballungsgebiete das 20fache dieser Zahl angenommen werden.

Ein Vergleich des Schwefeldioxidanteils an der Gesamtimmission mit der statistischen Angabe des Bundesgesundheitsministeriums ergibt ähnliche Zahlen, wenn man den Kohle- und Heizölverbrauch für das Jahr 1970 betrachtet (SCHWANECKE 1971).

Die Anteile der einzelnen Energieträger an der Schwefelimmission sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Tab. 2 : S-Gehalt und SO₂-Auswurf einiger Energieträger

Brennstoffart	Menge 10 ⁶ t/Jahr	S-Gehalt	SO ₂ -Auswurf 10 ⁶ t/Jahr
Kohle	75,0	ca. 2,0	2,80
Koks	40,0	" 0,8	0,64
Heizöl EL	44,6	" 0,6	0,54
Heizöl S	26,6	" 2,5	1,33
Diesel	9,6	" 0,6	0,12
Gesamtsumme			5,43

Diese 5 Mill. Tonnen Schwefeldioxid, die jährlich im Bundesgebiet in die Luft gelangen, stammen aus Kraftwerk- und Industrieschornsteinen und aus Hauskaminen. Unter diesen Emittentenquellen kommt den Kraftwerken eine große Bedeutung zu. Sie können je nach ihrer Größe eine Auswurf-Leistung bis 40 t SO₂/Std haben. Nach einer Untersuchung für die Stadt Düsseldorf wird ein durchschnittlicher Auswurf von 10 t SO₂/Std angegeben, was einer durchschnittlichen Belastung der Luft mit 0,15 mg/m³ SO₂ gleichkommt. Wenn man von der Annahme ausgeht, daß bei 0,1 mg/m³ SO₂ beispielsweise einige Koniferenarten nicht mehr gedeihen können (s. STRATMANN 1971), ist leicht zu erkennen, wie gefährlich die höheren Konzentrationen des Schwefeldioxids für das Pflanzenreich sein können.

In der Periode vom 4. - 7.12.1962 konnte GEORGII eine maximale SO₂-Konzentration in Frankfurt/Main von 1,1, in Gelsenkirchen von 3,5 und in Bochum von 2,9 mg/m³ bestimmen. Die minimale SO₂-Konzentration in der gegebenen Zeit betrug 0,32, 0,4 und 0,18 mg/m³. Als normale SO₂-Konzentration in der Luft wird von ihm ein Wert von 0,005 - 0,02 mg/m³ angegeben.

Über die Schwefelmengen, die durch Niederschläge dem Boden und den Pflanzen zugeführt werden, liegen von vielen Autoren Untersuchungen vor, in denen auf die schädliche Wirkung des sauren Niederschlags - besonders im Industrieballungsgebiet - hingewiesen wird.

So betrug der im Jahre 1951 von SCHARRER und FAST gemessene Schwefelgehalt des Regenwassers in Gießen im Durchschnitt 2,36 mg/l S. Die Untersuchungen, die GEORGII und WEBER im Jahre 1960 im Raum Frankfurt/M. und im Taunus durchgeführt haben, ergaben eine Schwefelmenge im Regenwasser von 5,0 mg/l für Frankfurt/M. und 1,7 mg/l für den Raum Taunus. Außerdem werden in Skandinavien seit einigen Jahren in zunehmendem Maße saure Niederschläge festgestellt, die für das Fischsterben und den dauernden Rückgang der Fischbestände in den skandinavischen Flüssen, sowie für Wachstumsdepressionen der Fichten- und Tannenwälder verantwortlich gemacht werden. Diese sauren Niederschläge - wie von OTTAR (1972) behauptet wird - werden durch Industrieabgase aus Mitteleuropa und England verursacht, die bei bestimmter Wetterlage nach Skandinavien einströmen.

Durch zahlreiche Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Aufnahme der Rauchgase bei Pflanzen fast ausnahmslos durch die Spaltöffnungen der Blätter erfolgt. Die Schädigung der Pflanzen durch Rauch- und Abgase ist je nach Art des Gases und seiner Konzentration verschieden. Bei höheren Konzentrationen genügen oft wenige Stunden, um Blattnekrosen hervorzurufen. Solche Erscheinungen hängen in erster Linie vom Öffnungszustand der Spaltöffnungen der Blätter ab. Während der Nacht und auch an heißen und trocknen Tagen, besonders am Nachmittag, sind die Pflanzen weniger gefährdet, weil die Spaltöffnungen der Blätter geschlossen bleiben, als an trüben Tagen mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit (THOMAS 1964, GARBER 1967).

Die Empfindlichkeit der Pflanze gegenüber SO_2 , wie die Versuchsergebnisse von VAN HAUT und STRATMANN 1960 an Haferpflanzen zeigen, bleibt nicht während der ganzen Vegetation konstant.

Die Untersuchungen haben ergeben, daß die Pflanze im Laufe der Vegetation erhebliche Resistenzunterschiede aufweist. Die Empfindlichkeit der Pflanze fängt erst mit dem 3-Blattstadium an, wonach sie wieder resistenter wird. In der Zeit zwischen Auflaufen und 2-Blattstadium ist die Pflanze am widerstandsfähigsten. Die Resistenz, die die Pflanze während der Vegetation aufweist, ist abhängig vom Entwicklungsstadium (Alter) der Blätter.

Abb. 2 zeigt, wie der Umfang der geschädigten Blattfläche prozentual während der Blattentfaltung ansteigt und danach bei voller Entfaltung wieder absinkt.

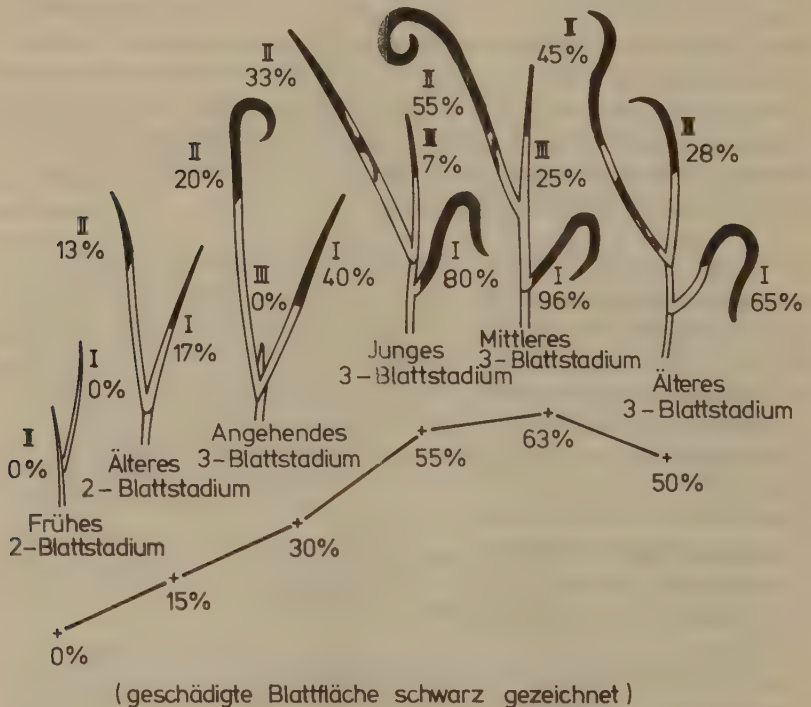


Abb. 2 : Schädigungsgrad der Blätter von Haferkeimpflanzen in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium. (nach VAN HAUT und STRATMANN 1960)

Zur Festlegung und Erfassung einer quantitativen Beziehung zwischen dem SO_2 -Gehalt der Luft und der Schadwirkung an Pflanzen ist in erster Linie die Ermittlung der Toleranzgrenzen der einzelnen Pflanzen vorauszusetzen. Hierzu sind die in der Literatur vorhandenen Versuchsergebnisse weitgehend ungeeignet, weil sie in der Regel unter ungleichen Bedingungen gewonnen werden. Deshalb wurde in den letzten Jahren der SO_2 -Arbeitsgruppe der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft die Aufgabe gestellt, jene Toleranzgrenzen zu ermitteln, die eine Vegetationsbeeinträchtigung durch SO_2 verursachen. Die Untersuchungen, die GUDERIAN 1960, 1961 und GUDERIAN mit STRATMANN 1962 mit 25 verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen, Obstgewächsen und Forstgehölzen durchgeführt haben, sollen das Verhalten der Vegetation gegenüber SO_2 -Einwirkungen in einem Freilandversuch aufdecken. Zur Lösung dieser Aufgabe mußte ein Untersuchungsraum gewählt werden, in dem nur SO_2 als einziger Schadstoff vorhanden war. Da die Eisenerzgrube Füsseberg in Biersdorf (Sieg) dafür geeignet erschien, wurden die Gefäße mit den Versuchspflanzen auf Stationen in verschiedener Entfernung vom Emittenten aufgestellt. Folgende Merkmale der Versuchsstationen wurden angegeben:

Tab. 3 : Merkmale der Versuchsstationen in Biersdorf
(nach R. GUDERIAN 1960)

Station	Entfernung vom Emittenten in m	Höhen- lage in m über NN	Max. Spitzen- konzentration (in ppm)	Max. Stunden- mittel (in ppm)	Schadgrad der Vegetation
I	325	360	7	3,5	sehr starke Schäden bis Totalschäden
II	600	360	5	2,5	sehr starke Schäden
III	725	360	3	1,5	starke Schäden
IV	1350	410	2	1	schwache Schäden
V	1900	380	1	0,5	sehr schwache Schäden
VI	6000	360	nicht beaufschlagt		Normales Wachst- um (Nullparzelle)

In der Fachwelt wird häufig die Ansicht vertreten, daß die Ergebnisse der Freilandmessungen durch Versuche an Pflanzen in geschlossenen Räumen ergänzt und erweitert werden müßten, wobei die SO_2 -Konzentration während der Versuchsdauer genauer dosiert und leicht auf gleicher Höhe gehalten werden kann. Diese Arbeitsweise hat den Vorteil, daß man komplexe Zusammenhänge zwischen der Konzentration und der Einwirkungsdauer des Gases einerseits und dem Reaktionsverhalten der Pflanze in einzelnen Entwicklungsstadien andererseits beobachten und erkennen kann. Diese Versuche wurden durch VAN HAUT und ZAHN im Jahre 1961 auf zwei Arten durchgeführt. VAN HAUT hat die Pflanze in einer Klimakammer mit Schwefeldioxid behandelt, wobei alle Einflußgrößen bis auf die zu untersuchende konstant gehalten werden konnten. Den Versuchsergebnissen ist zu entnehmen, daß keine lineare Beziehung zwischen geschädigter Blattfläche und dem Produkt aus der Konzentration des Gases (c) und der Einwirkungsdauer (t) besteht. Es ist vielmehr eine Zunahme des Schädigungsgrades der Blattfläche mit Steigerung der Gaskonzentration bei konstanten Produkten $c \cdot t = \text{const.}$ aus c und t festzustellen. So wurden z.B. in einem Begasungsversuch Radieschen mit Schwefeldioxid behandelt. Bei einer Konzentration von $3 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ Luft konnten nur 2 % der gesamten Blattfläche geschädigt werden, aber bei $12 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$ Luft dagegen 77 %, obwohl in beiden Fällen die Summe von c und t gleich war, wobei die Zeit im ersten Versuch 12 Stunden, im zweiten nur 3 Stunden betrug.

In Abb. 3 ist es graphisch dargestellt:

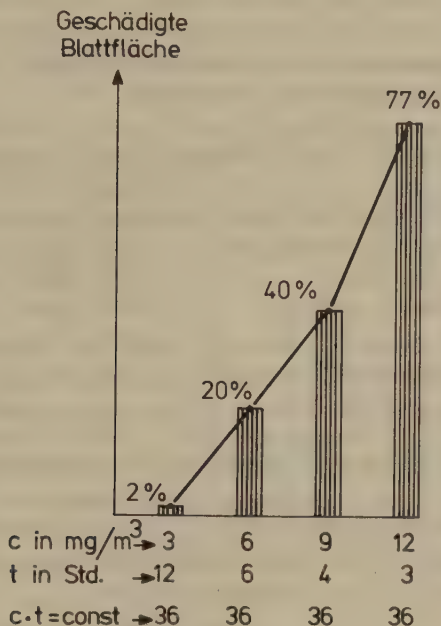


Abb. 3 : Progressiver Anstieg des Schädigungsgrades mit der Konzentration bei Radieschen.
(nach VAN HAUT 1960)

Mit Hilfe anderer Methoden hat ZAHN, mit kontinuierlichen Be-
gasungen bei gleichbleibenden Konzentrationen in Gewächshäusern
unter freilandnahen Bedingungen auf dem Versuchsgelände der
Farbwerke Hoechst AG in Hattersheim, Grenzkonzentrationen für
verschiedene Kulturpflanzen gefunden. Folgende Näherungswerte

der Grenzkonzentration konnten bei untersuchten Pflanzen festgestellt werden:

Tab. 4 : SO_2 -Grenzkonzentrationen für verschiedene Pflanzenarten (nach R. ZAHN 1961)

Pflanzenart	Grenzkonzentration ppm
Luzerne, Inkarnatklée, Zottelwicke	0,15 - 0,30
Sommerweizen, Hafer, Spinat	0,20 - 0,30
Buschbohnen, Kopfsalat, Endivie	0,20 - 0,40
Erdbeeren, Rosen	0,20 - 0,80
Kartoffeln, Sommerraps, Radies, Marktstammkohl	0,30 - 0,80
Zuckerrüben, Blumenkohl	0,40 - 0,80

Ein anderes Kriterium für das Aufstellen von Toleranzgrenzen sind die unterschiedlichen Empfindlichkeitsstufen von einzelnen Pflanzengruppen, wie es in Tab. 5 dargestellt ist:

Tab. 5 : Empfindlichkeitsstufen bei SO_2 -Einwirkung (nach R. ZAHN 1961)

Resistenzgruppe	Pflanzenart	Toleranz- grenze ppm
I	kleeartige Futterpflanzen	0,15 - 0,20
II	Getreidearten, Blattgemüse (außer Kohl), Bohnen, Erdbeeren, Rosen	0,20 - 0,30
III	Hackfrüchte, Ölfrüchte (Raps), Kohlarten	0,30 - 0,40

Die Bedeutung des Schwefels für die Pflanzenwelt muß unter zwei Gesichtspunkten gesehen werden. Einerseits haben Schwefelverbindungen in hochindustrialisierten Ländern, wo sie im Überschuß vorhanden sind, toxischen Charakter; andererseits gehört der Schwefel zu den unentbehrlichen Pflanzennährstoffen, und zwar ist er nach seinem Gehalt in den Pflanzen - der etwa in der Größenordnung des Phosphats liegt - zu den Makronährstoffen zu rechnen. In der Pflanze kommt der Schwefel in organischer und anorganischer Form vor, wobei zwischen den beiden Fraktionen keine genaue Relation bekannt ist (MENGEL 1968, MARQUARD 1967, THOMAS 1964).

Die Pflanze ist unter gewissen Umständen fähig, einen großen Teil ihres Bedarfs an Schwefel direkt aus der Luft zu decken, obwohl sie in der Regel den größten Teil des Schwefels als Sulfat über die Wurzel aufnimmt (MENGEL 1968, GARBER 1967, THOMAS 1964, FRIED 1958, SCHMALFUSS 1964, OLSEN 1957, FALLER, HERWIG, KÜHN 1970, EGNER 1965, DROVER 1960, MANN 1957). So konnte z.B. OLSEN 1957 feststellen, daß die Baumwollpflanze bei einer normalen Schwefelversorgung ungefähr 30 % ihres gesamten Schwefelbedarfs aus der Luft aufnimmt und im Mangelzustand diesen Anteil sogar bis 50 % erhöhen kann.

Aus vielen Untersuchungsergebnissen ist zu entnehmen, daß der Schwefel in zahlreichen Verbindungen vorkommt, die Schlüsselpositionen im pflanzlichen Metabolismus einnehmen. Zu nennen sind hier Methionin, Cystin, Cysteine, Glutathion, α -Liponsäure, Ferredoxin, Co-Enzym A, Thiamin und viele andere. Damit erfüllt der Schwefel wichtige Aufgaben, vornehmlich bei der Proteinsynthese, der Photosynthese und im Lipidstoffwechsel. Dabei geht der Schwefel direkt in den pflanzlichen Baustoffwechsel ein, d.h. er hat zwar katalytische Funktionen, wird aber vornehmlich in die biologische Substanz eingebaut.

Erwartungsgemäß wurden in Industrieländern kaum Schwefelmangelerscheinungen bei Pflanzen beobachtet, weil die Pflanzen durch ausreichende Mengen des Schwefels in der Luft versorgt werden können (BUCHNER 1958, BERGE, DAHMEN 1959, RIEHM 1964, KURMIS 1957).

Von den Autoren SAALBACH und JUDEL 1966, SCHLÜGL 1965 sind aber einige Standorte in der Bundesrepublik Deutschland nachgewiesen, wo wegen ungenügender Schwefelversorgung niedrige Erträge erzielt worden sind.

Die Bemühungen heutzutage zielen darauf, die Immissionen von Schadstoffen so weit zu verringern, daß die belebte Natur nicht mehr schädlich beeinträchtigt wird. Um dieses Ziel zu erreichen, sind noch umfangreiche Arbeiten im Bereich der Luft-, Boden- und Pflanzenanalysen nötig.

Mit der vorliegenden Arbeit sollte ein Beitrag geleistet werden, um diesem Ziel näher zu kommen.



2. Methodik

2.1. Durchführung der Vegetationsversuche 1971 und 1972

In den Jahren 1971 und 1972 durchgeführte Gefäßversuche sollten zur Klärung der Frage dienen, inwieweit durch SO_2 -Abgase Einflüsse auf das Wachstum der Kulturpflanzen nachweisbar sind und ob Veränderungen in verschiedenen Inhaltsstoffen eintreten.

2.1.1. Charakterisierung der Versuchsstandorte

Im Jahre 1971 wurde ein Standort in unmittelbarer Nähe eines Industriegebietes, nämlich der CALTEX-Raffinerie bei Raunheim ausgewählt. Im Jahre 1972 wurde die Versuchsreihe wesentlich erweitert, insbesondere wurde ein industriieferner Standort (Rauisch-Holzhausen, bei Marburg) in die Untersuchung einbezogen.

Die Lage der einzelnen Versuchsstandorte geht aus der Abbildung 4 hervor. In dieser Abbildung sind alle Orte der Versuchsanstellung des Jahres 1971 markiert, von den 6 Standorten des Jahres 1972 sind 5 Standorte eingezeichnet, während der 6. Standort aus Gründen des Maßstabes nicht berücksichtigt werden konnte. Alle Versuchsbedingungen sind in der folgenden Beschreibung der Versuchsanlagen wiedergegeben.

2.1.2. Beschreibung der Versuchsanlagen

Versuchsanlage 1971

Standort : Gartenfläche in ca. 400 m Entfernung zur CALTEX-Raffinerie (Abb. 4).

Aufstellung der Gefäße : Der Standplatz 1 wurde so gewählt, daß dauernde Beschattung durch die im Garten stehenden Pfirsichbäume gegeben war.

Auf Standplatz 2 waren die Gefäße der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt, während der Standplatz 3 im Halbschatten lag, d.h. nur zeitweilige direkte Strahlung möglich war.

Versuchsboden

- : Löß (Untergrund aus Rausch-Holzhausen) im Volumenverhältnis 1 : 2 mit Sand (Dörentrup Nr. 9) gemischt. Die Gesamteinwaage pro Gefäß betrug 11,4 kg.

Versuchsgefäße

- : Plastikeimer von 10 l Inhalt und einer Oberfläche von 450 cm².

Versuchspflanzen

- : Hafer, Sorte Peragold. Buschbohnen, Sorte Wachs Favador.

Aussaatmenge

- : Hafer 50 Körner und Buschbohnen 14 Körner je Gefäß.

Düngung

: Hafer

3 g N als NH_4NO_3

4 g K als K_2SO_4

1 g P als $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

0,4 g Mg als $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$

2 g CaCO_3

: Buschbohnen

1 g N als NH_4NO_3

4 g K als K_2SO_4

1 g P als $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

0,4 g Mg als $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$

2 g CaCO_3

Zahl der Varianten

- : 2 Pflanzen (Hafer, Buschbohnen) x 3 Standplätze = 6 Varianten.
6 Varianten x 2 Gefäße = 12 Gefäße.

Ausgesetzt

- : am 19.4.1971

Ausgesät

- : Hafer am 20.4. 1971 und Buschbohnen am 7.5.1971.

Versuchsanlage 1972

- Standorte : Insgesamt 6, davon die Standorte 1, 2 und 3 in unmittelbarer Nachbarschaft der Standplätze des Jahres 1971, Standort 4 etwa 800 m nordöstlich der Raffinerie, Standort 5 auf dem Versuchsfeld des Bundesgesundheitsamtes für Wasser-, Boden- und Lufthygiene ca. 3 km nördlich der Raffinerie in Hattersheim (vgl. Abb. 4). Als Kontrollstandort (Nr.6) diente Gefäßstation des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung in Rauisch-Holzhausen bei Marburg.
- Aufstellung der Gefäße : In diesem Versuchsjahr war lediglich auf Standort 1 eine zeitweise Beschattung (Baumschatten) gegeben.
- Versuchsboden : Nährstoffarmer Löß (Untergrund Rauisch-Holzhausen) im Volumenverhältnis 1 : 1 mit Sand (Dorfner Nr. 9) gemischt. Die Gesamteinwaage betrug 10,9 kg pro Gefäß.
- Versuchsgefäße : Plastikeimer von 10 l Inhalt und einer Oberfläche von 450 cm².
- Versuchspflanzen : Hafer, Sorte Peragold. Einjähriges Weidelgras (*Lolium multiflorum* ssp. *gaudini*), Sorte Tetrone.
- Aussaatmenge : Hafer 50 Körner und Grassamen 2 g je Gefäß.
- Düngung : 3 g N als NH_4NO_3
 4 g K als K_2SO_4
 1 g P als $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
 0,4 g Mg als $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
 3 g CaCO_3

Zahl der Varianten

: 1 Pflanze (Hafer) x 6 Standorte = 6 Varianten.

6 Varianten x 10 Gefäße = 60 Gefäße.

Nach der ersten Zeiternte wurden je Standort drei Gefäße frei, in die nach leichtem Auflockern und Glätten der Gefäßoberfläche 2 g Grassamen eingesät wurden.

Ausgesetzt

: am 11.4.1972

Ausgesät

: Hafer am 11.4.1972 und Gras am 15.5.1972.

2.1.3. Vegetationsbeobachtungen und ErntezeitpunkteHafer 1971

Tag der Aussaat : 20.4.1971

Tag des Aufganges : 28.4.1971

Ernte, Datum	Tage n. Aufgang	Wachstumsbeobachtungen
I. 14.5.1971	17	4. Blatt angesetzt. Auf 25 Pfl./Gefäß vereinzelt. 2. N-Gabe in Höhe von 1,0 g/Gefäß und 1 kg Kies als Verdunstungsschutz gegeben. Pfl.-Höhe 14 cm.
II. 28.5.1971	31	Bestockung beginnt. 5. Blatt angesetzt. Starker Blattläuse- und Mehltaubefall (mit EUPAREN und UNDEN gespritzt). Pfl.-Höhe 23 cm.
III. 11.6.1971	45	Das Schossen setzt ein. Blattspitzen werden gelb. 6. Blatt angelegt. Pfl.-Höhe 39 cm.
IV. 23.6.1971	57	Rispschieben und Beginn der Blüte. 7. Blatt angelegt. Blattspitzen vertrocknet. Blattläusebefall (mit UNDEN gespritzt). Pfl.-Höhe 53 cm.
V. 7.7.1971	71	Volle Blüte. Braune Flecken treten auf Blattoberfläche auf. Pfl.-Höhe 65 cm.
VI. 21.7.1971	85	Die älteren Blätter sind völlig vertrocknet und die jüngeren Blätter beginnen abzusterben. Pfl.-Höhe 79 cm.
VII. 2.8.1971	97	Ganze oberirdische Teile der Pflanze sind gelb. Kornverlust durch Vogelfraß und Ausfall, Pfl.-Höhe 83 cm.
VIII. 16.8.1971	111	Hafer ist vollreif

Buschbohnen 1971

Tag der Aussaat : 7.5.1971

Tag des Aufganges : 21.5.1971

Ernte, Datum	Tage n. Aufgang	Wachstumsbeobachtungen
I. 11.6.1971	20	Sehr ungleichmäßiger und schwacher Pflanzenbestand, von hellgrüner Färbung. Auf der ganzen Blattoberfläche sind weiße Flecken sichtbar. Auf 9 Pflanzen pro Gefäß vereinzelt. Blattläusebefall (mit UNDEN gespritzt).
II. 7.7.1971	46	Die Pflanzen sind immer noch zu schwach, die Farbe hell, das Wachstum gehemmt (N-Mangel ?). N-Gabe in Höhe von 1,0 g/ Gefäß verabreicht.
III. 2.8.1971	72	Die Pflanzen erholen sich, die Färbung wird dunkler. Auf Standplatz 1 fangen die Pflanzen an zu vertrocknen (mit UNDEN nochmal gespritzt).
IV. 16.8.1971	84	Die Pflanzen sind auf dem 1. Standplatz völlig vertrocknet und auf dem 2. Standplatz weitgehend abgestorben.

Hafer 1972

Tag der Aussaat : 11.4.1972

Tag des Aufganges : 17.4.1972

Ernte, Datum	Tage n. Aufgang	Wachstumsbeobachtungen
I. 12.5.1972	25	Bestockung beginnt. 4. Blatt angelegt. Auf 40 Pfl./Gefäß vereinzelt. 1. Blatt ist an der Spitze braun und vertrocknet. Pfl.-Höhe 19 cm.
II. 29.5.1972	42	Das Schossen setzt ein. Auf 35 Pfl./Gefäß vereinzelt. Die 2. N-Gabe in Höhe von 1,0 g/Gefäß und 1 kg Kies als Verdunstungsschutz gegeben. Alle Standorte im Raum Raunheim und Hattersheim sind zum Schutz gegen Kaninchen- und Vogelfraß eingezäunt und mit Plastiknetz zugedeckt. Pfl.-Höhe 38 cm.
III. 12.6.1972	56	Rispenstadien und Beginn der Blüte. 6. Blatt ist angelegt. Blattläusebefall (mit UNDEN gespritzt). Pfl.-Höhe 64 cm.
IV. 30.6.1972	74	Ende der Blüte. Aufgrund deutlicher Blattaufhellung ist eine 3. N-Gabe nötig. Starker Blattläuse- und Mehltaubefall (mit EUPAREN und UNDEN gespritzt). Pfl.-Höhe 90 cm.
V. 17.7.1972	91	Die älteren Blätter sind vertrocknet, jüngere Blätter sterben ab. Die Rispen beginnen zu vergilben. Die Körner können teilweise leicht von der Spelze getrennt werden. Pfl.-Höhe 105 cm.
VI. 1.8.1972	107	Hafer ist vollreif.

Weidelgras 1972

Tag der Aussaat : 15.5.1972

Tag des Aufganges : 23.5.1972

Die Ernte wurde in 4 Schnitten durchgeführt und war am 27.6. 1972, 2.8.1972, 23.8.1972 und 28.9.1972. Nach dem 1. Schnitt wurde eine N-Gabe in Höhe von 1,0 g/Gefäß gegeben, nach den weiteren Schnitten erfolgte keine N-Gabe. Besondere Beobachtungen wurden nicht gemacht, der Bestand war allgemein als gut zu bezeichnen.

Es wurde eine zweimalige Spritzung gegen Blattläuse mit UNDEN durchgeführt.

2.2. Analysenmethoden zur Schwefel- und Proteinbestimmung

2.2.1. Bestimmung des org. und anorg. gebundenen Schwefels

Die Bestimmung des Gesamtschwefels im gewonnenen Pflanzenmaterial erfolgte in Anlehnung an das Verbrennungsverfahren von GROTE und KREKELER (1933), wobei folgende Arbeitsvorschrift eingehalten wurde: Die Einwaage der fein zermahlenden und bei 105 °C getrockneten Pflanzensubstanz erfolgte in ein Porzellanschiffchen. Dann wird das Schiffchen mit der Probe in das Quarz-Verbrennungsrohr eingeführt. Dort wird die Probe auf kleiner Bunsenflamme verbrannt, der org. gebundene Schwefel zu SO_2 und SO_3 oxidiert und in einer Adsorptionsvorlage, die mit 15 ml 3 %iger H_2O_2 -Lösung gefüllt ist, aufgefangen und zu H_2SO_4 aufoxidiert. Der anorg. gebundene Schwefel verbleibt im Verbrennungsrückstand. Dieser wird mit Aqua dest. kurz aufgekocht, filtriert und sulfatfrei gewaschen.

Zur Bestimmung des org. Schwefelanteils wird die Flüssigkeit in der Vorlage quantitativ auf ein Filter gebracht und das Filter mehrmals nachgewaschen. Anschließend wird das Filtrat, nach Zusatz von 1 ml 0,1 %iger NaCl-Lösung oder 10 ml Vorgabelösung (100 µg S und 10 mg NaCl in 10 ml), auf dem Wasserbad zur Trockene eingedampft. Die anorg. Fraktion (Filtrat des Rückstandes) wird auf gleiche Weise behandelt, jedoch nur bis auf etwa 5 ml eingedampft.

Danach werden die beiden Fraktionen mit Methanol (mit einer Konzentration von 80 bis 90 %) auf ein bestimmtes Volumen gebracht, nach Zusatz von 7 bzw. 8 ml Elektrolytlösung (10 mg MgCl_2 + 1,8 mg NH_4Cl pro 1 ml, pH 8,5 - 8,7) (vgl. JÄGER u. STEUBING, 1970).

Die Messung des S-Gehaltes erfolgte turbidimetrisch nach einer Methode von WICKBOLD (1953).

Die genannten Methoden zeichnen sich durch eine hohe Genauigkeit aus, wie u.a. aus Untersuchungen von BUCK (1962) hervorgeht, der eine Standardabweichung von $< 0,01$ errechnete. Bei den Eigenuntersuchungen wurde ein relatives Abweichen zwischen den Parallelen von $< 1\%$ toleriert.

2.2.2. Bestimmung von Roh- und Reinprotein

Zur Bestimmung des Rohproteingehaltes im Pflanzenmaterial wurde nach der Methode von KJELDAHL gearbeitet, wobei folgende Arbeitsvorschrift eingehalten wurde:

Die getrocknete Pflanzensubstanz wird mit 25 ml H_2SO_4 konz. ($s = 1,84$) und Selenreaktionsgemisch aufgeschlossen. Der Aufschluß wird mit Wasser verdünnt, und nach Zugabe von 80 ml einer ca. 33 %igen Natronlauge erfolgt eine Wasserdampfdestillation. Als Vorlage dient eine $n/4$ H_2SO_4 . Die Titration erfolgt mit $n/4$ NaOH bei Verwendung von Kongorot als Indikator. Der Rohproteingehalt wurde durch Multiplikation des KJELDAHL-N mit 6,25 errechnet.

Die Reinproteinbestimmung erfolgt nach der Methode STUTZER-BARNSTEIN (NEHRING 1960). Bei dieser Methode werden 2 g getrocknetes Pflanzenmaterial mit 50 ml Aqua dest. kurz aufgekocht und mit 25 ml 6 %iger Kupfersulfatlösung versetzt. Dann wird 25 ml 1,25 %ige Natronlauge zugegeben und der gebildete Niederschlag nach etwa 12 Stunden filtriert. Dadurch werden nicht fällbare N-haltigen Stoffe - überwiegend Amine, Aminosäuren und Säureamide - von den echten Eiweißen getrennt.

Der im Filter verbleibende Niederschlag wird nach KJELDAHL aufgeschlossen, der N-Gehalt bestimmt und der Reinproteingehalt durch Multiplikation mit 6,25 errechnet.

3. Versuchsergebnisse

3.1. Hafer 1971 und 1972

3.1.1. Erträge

Hafer 1971

Die Erträge sind in Tab. 6 und in Abb. 5 dargestellt. Die Erträge der 3 Varianten sind nur bis zum 5. Erntetermin vergleichbar, danach folgt eine starke Abnahme, die auf unerwarteten Kornausfall und auf Verluste durch Vogelfraß zurückzuführen ist.

Die Trockenmasse-Erträge bei Hafer zeigen deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Beschattung bzw. Strahlung. Die Unterschiede in den drei ersten Ernten sind noch relativ gering und treten erst in der Phase der stärksten Massenbildung hervor, indem mit dem Grad der Beschattung die Erträge zurückbleiben. Die Höchsterträge bei der V. Ernte betragen auf dem 1. Standplatz 23,0 g, auf dem 2. Standplatz 30,6 g und auf dem 3. Standplatz 27,0 g, jeweils bezogen auf 6 Pflanzen.

Tab. 6 : Gefäßversuch 1971, Gesamterträge bei Hafer,
Trockenmasse g/6 Pflanzen

Ernte	Datum	Trockengewichte g/6 Pfl.		
		Standplätze		
		1	2	3
I.	14.5.1971	0,2	0,2	0,2
II.	28.5. "	1,8	2,5	1,8
III.	11.6. "	7,8	10,0	9,0
IV.	23.6. "	11,0	24,0	16,0
V.	7.7. "	23,0	30,6	27,0
VI.	21.7. "	11,0	22,8	17,0
VII.	2.8. "	7,8	11,0	11,0
VIII.	16.8. "	6,6	9,0	8,0

Hafer 1972

Die Erträge sind in Tab. 7 und in Abb. 6 zusammengefaßt. Die Werte der Trockenmasse-Erträge sind bei den ersten 3 Ernten auf den Standorten 1 bis 6 annähernd gleich, wobei die Werte auf dem Standort 5 (Hattersheim) stets etwas über denen der anderen Standorte liegen. Auf Standort 6 (Rauisch-Holzhausen) liegen in der I. und II. Ernte die Erträge am niedrigsten, erreichen aber bereits zur III. Ernte die zweithöchste Position. Bis zur V. Zeiternte ist auf allen 6 Standorten ein starker Anstieg der Trockenmassenbildung zu verzeichnen. Von der V. zur VI. Ernte geht der Ertragsanstieg auf den Standorten Rauisch-Holzhausen und Hattersheim fast unverändert weiter; auf den Standorten 2, 3 und 4 sind noch geringe Ertragsanstiege vorhanden, während auf dem Standort 1 ein schwacher Ertragsrückgang feststellbar ist, der auf Blattverluste zurückgeführt werden muß.

Die erzielten Enderträge (Blatt, Halm, Korn) betragen auf dem 1. Standort 124,8 g, auf dem 2. Standort 142,9 g, auf dem 3. Standort 143,5 g, auf dem 4. Standort 144,5 g, auf dem 5. Standort 182,0 g und auf dem 6. Standort 250,0 g Trockenmasse pro Gefäß (35 Pflanzen).

Tab. 7 : Gefäßversuch 1972, Gesamterträge bei Hafer,
Trockenmasse g/Gefäß (35 Pfl.)

Ernte	Datum	Trockengewichte g/Gefäß (35 Pfl.)					
		Standorte					
		1	2	3	4	5	6
I.	12.5.1972	3,0	3,5	3,5	3,5	4,6	2,8
II.	29.5. "	17,5	18,0	18,5	17,5	22,7	14,7
III.	12.6. "	28,6	29,8	28,0	33,0	43,0	40,6
IV.	30.6. "	77,0	85,7	87,5	87,0	107,5	109,0
V.	17.7. "	125,6	134,0	134,8	140,0	153,0	197,0
VI.	1.8. "	124,8	142,9	143,5	144,5	182,0	250,0

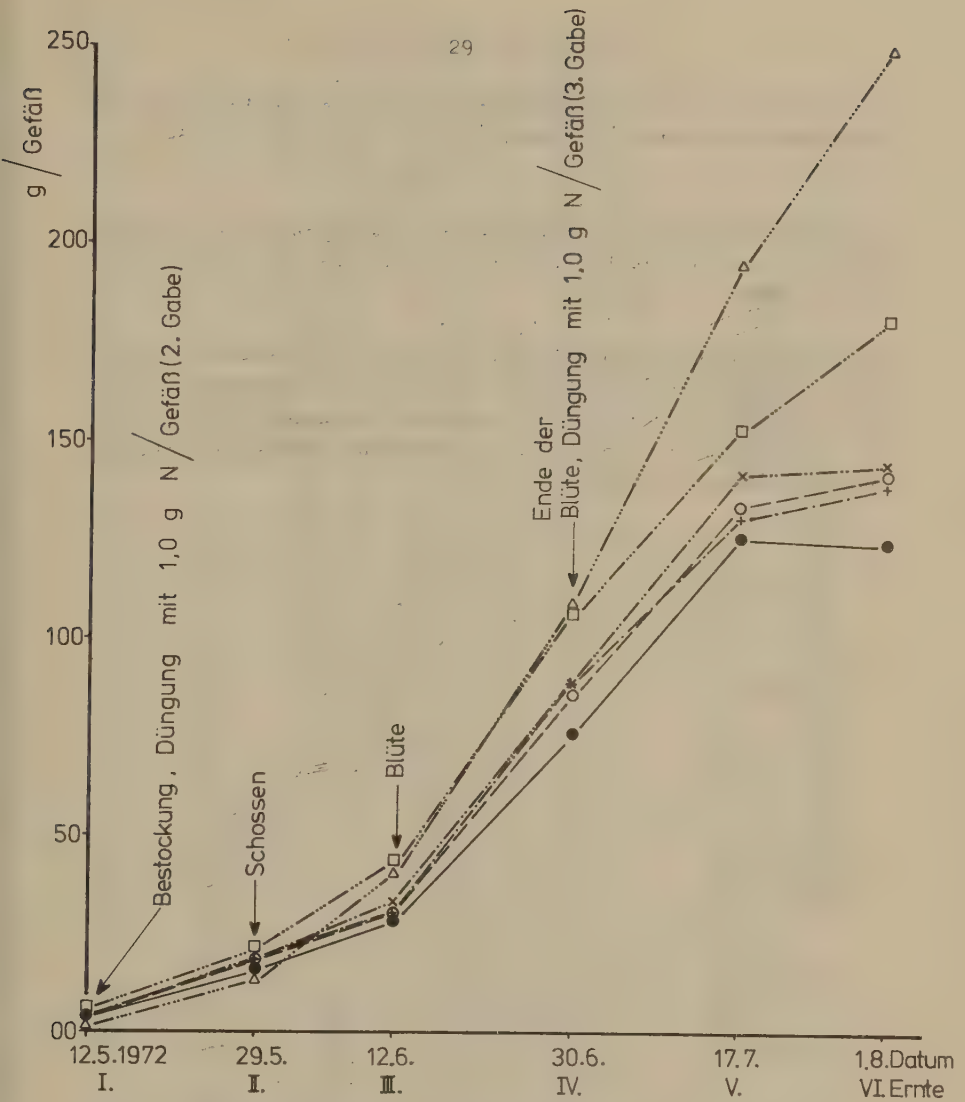


Abb. 6 : Gefäßversuch 1972, Gesamterträge bei Hafer, Trockenmasse g / Gefäß (35 Pflanzen)

- | | | |
|----|----|--|
| ●— | 1. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| ○— | 2. | „ „ „ „ „ „ „ „ ohne Beschattung |
| +— | 3. | „ „ „ „ „ „ „ „ |
| x— | 4. | „ „ „ „ „ „ „ „ |
| □— | 5. | „ „ „ „ „ „ „ „ |
| △— | 6. | „ „ „ „ „ „ „ „ |
- 800 „ „ „ „ „ „ „ „
- Hattersheim ca. 3 km entfernt, „ „
- Rauisch-Holzhausen „ „

Von der III. Ernte an wurden die Erträge des Blatt-, Halm- und Kornanteils getrennt bestimmt, die aus Tab. 8 und aus Abb. 7 ersichtlich sind.

Die höchsten Blatt- und Halmerträge wurden bei der V. Zeiternte erzielt, während die höchsten Kornerträge bei der letzten Zeiternte liegen (s. Tab. 8).

Im Vergleich der Standorte sind die Erträge in Rauisch-Holzhausen von den anderen Standorten etwas stärker abweichend, indem sie bei Blatt in der IV. und V. Ernte, bei Halm in der V. und VI. Ernte und bei Korn in der letzten Ernte deutlich über den anderen Standorten liegen.

Tab. 8 : Gefäßversuch 1972, Blatt-, Halm- und Kornerträge bei Hafer,
Trockenmasse g/Gefäß (35 Pflanzen)

Ernte Datum	Trockengewichte g/Gefäß (35 Pflanzen)																	
	Blatt									Korn								
	Halm																	
	Standorte																	
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
III. 12.6.72	22,0	24,0	22,0	26,0	32,0	31,0	7,0	6,0	5,0	8,0	11,0	9,0	-	-	-	-	-	-
IV. 30.6."	35,0	40,0	40,0	41,0	46,0	56,0	26,0	29,0	29,0	31,0	40,0	31,0	16,0	18,0	19,0	16,0	22,0	22,0
V. 17.7."	38,0	40,0	40,0	48,0	45,0	63,0	36,0	37,0	33,0	39,0	45,0	77,0	51,0	57,0	61,0	52,0	64,0	58,0
VI. 1.8."	33,0	35,0	33,0	37,0	43,0	37,0	33,0	34,0	34,0	34,0	44,0	63,0	59,0	73,0	75,0	74,0	95,0	150,0

1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 2. " " " " " " " " " " " "
 3. " " " " " " " " " " " "
 4. " " " " " " " " " " " "
 5. " " " " " " " " " " " "
 6. " " " " " " " " " " " "
- 800 " " " " " " " " " " " "
 Hattersheim ca. 3 km entfernt, " " " " " "
 Rautsch-Holzhausen " " " " " " " " " " " "

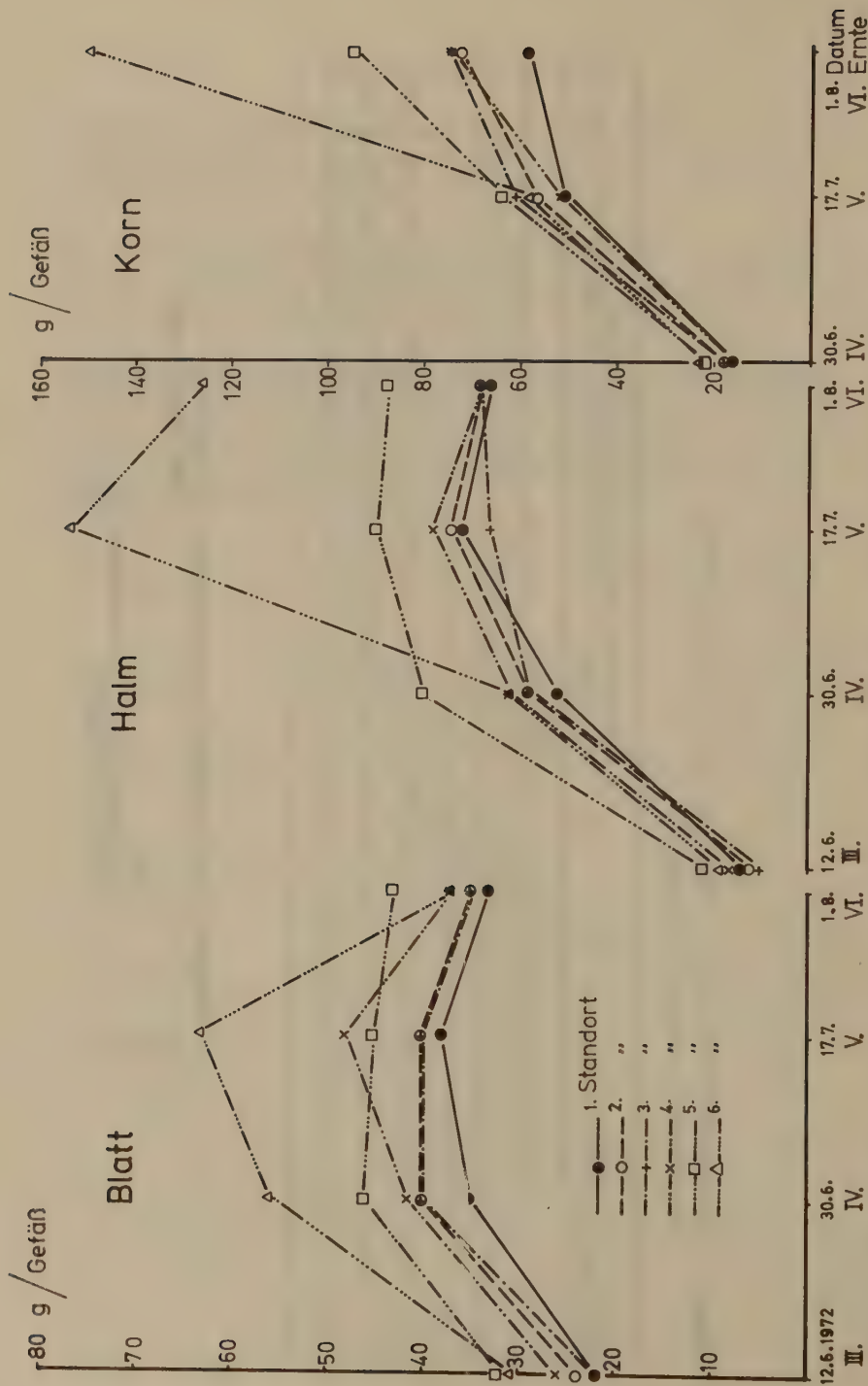


Abb. 7 : Gefäßversuch 1972, Blatt-, Halm- und Kornerträge bei Hafer , Trockenmasse g / Gefäß (35 Pflanzen)

3.1.2. Schwefel- und Proteingehalte

3.1.2.1. Org. gebundener Schwefel

Hafer 1971

Die Gehalte im Jahre 1971 sind in Tab. 9 und in Abb. 8 dargestellt.

Im Verlauf der Vegetation beziehen sich die Gehaltsangaben bis zur VI. Ernte einschließlich auf die gesamte Pflanze. Das Material der VII. und VIII. Ernte wurde getrennt nach Korn und Stroh analysiert.

Der Verlauf der Gehaltskurven zeigt im allgemeinen mit fortschreitender Entwicklung einen Abfall. Zu allen Erntezeitpunkten sind die Gehalte auf den Standplätzen 1 und 3 nahezu gleich. Abweichungen ergeben sich zum Standplatz 2 mit niedrigeren Gehalten zum Zeitpunkt der Bestockung, etwa gleichen Gehalten beim Schossen und mit deutlich höheren Gehalten ab Blüte bis zur VI. Zeiternte.

Ab der VII. Ernte nähern sich die Gehalte im Stroh einander an und blieben bis zum Ende der Vegetation bestehen.

Im Korn steigen die Gehalte von der VII. zur VIII. Ernte auf den Standplätzen 1 und 2 an und liegen annähernd gleich hoch. Zur VII. Ernte liegt der Gehalt auf dem Standplatz 3 höher als bei den anderen. Dann nähert sich der Gehalt zum Zeitpunkt der Vollreife (VIII. Ernte) den Gehalten auf anderen Standplätzen an.

Tab. 2 : Gehalt an org. gebundenem Schwefel in $\mu\text{g}/100 \text{ mg}$
ATM* bei Hafer 1971

Material	Ernte	1. Standplatz im Schatten	2. Standplatz ohne Beschattung	3. Standplatz im Halbschatten
Gesamtpflanze	I.	138,3	138,8	138,8
	II.	136,0	111,0	138,8
	III.	82,5	81,0	63,8
	IV.	62,5	33,8	68,8
	V.	68,8	87,5	67,5
	VI.	61,0	82,5	65,0
Stroh	VII.	38,8	38,8	33,8
	VIII.	36,0	37,5	31,0
Korn	VII.	126,0	128,8	146,0
	VIII.	147,5	141,0	143,8

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

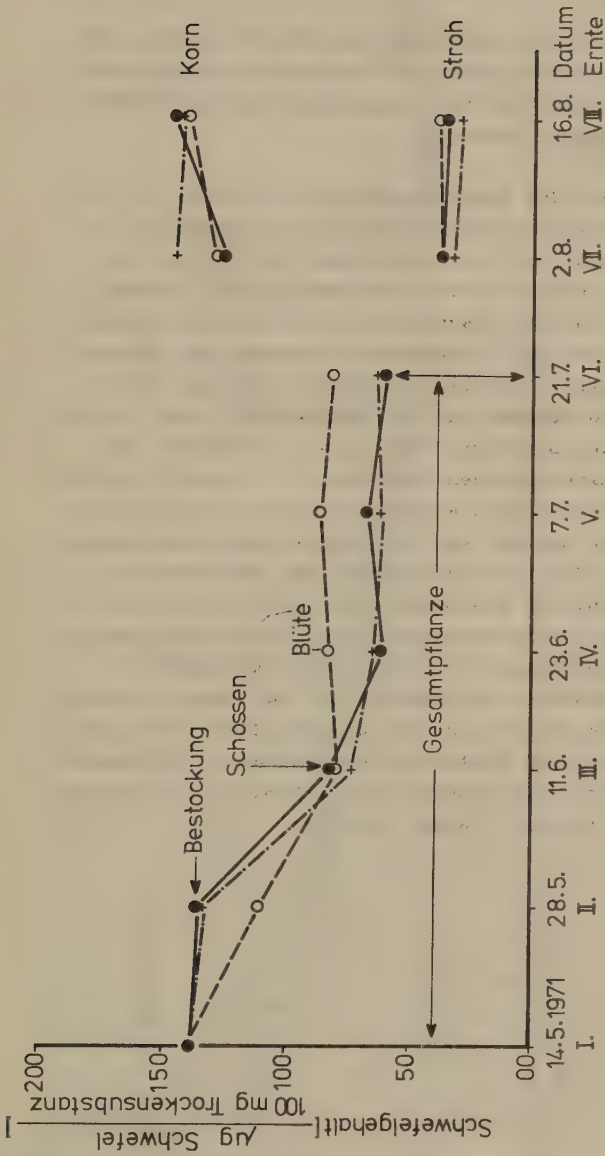


Abb. 8 ; Org. gebundener Schwefel im Hafer 1971

Hafer 1972

Die Gehalte im Stroh sind in Tab. 10 und in Abb. 9 dargestellt.

Bei den ersten 2 Ernten beziehen sich die Gehaltsangaben auf die gesamte Pflanze. Danach wurde das Material getrennt nach Stroh und Korn analysiert und bei Stroh eine weitere Auftrennung in Blatt und Halm vorgenommen.

Hier zeigt der Verlauf der Gehaltskurven wie im Jahre 1971 mit fortschreitender Entwicklung einen Abfall. Zum Zeitpunkt der Bestockung lassen sich die 6 Standorte nach der Analyse in 3 Gruppen einteilen, wobei die Gehalte jeweils auf Standort 1 und 2, 3 und 4 und 5 und 6 nahezu gleich sind. Beim Schossen nähern sich die Gehalte auf 5 Standorten einander an, während Standort 3 einen deutlich niedrigeren Gehalt aufweist. Zur Blütezeit steigen die Gehalte auf den Standorten 4 und 5 leicht an. Der Gehalt auf dem Standort 3 erhöht sich ebenfalls und nähert sich den Gehalten auf den Standorten 1, 2 und 6. Am Ende der Blütezeit liegt der Gehalt auf dem Standort 6 in gleicher Höhe und somit an der Spitze, weil die Gehalte auf den anderen Standorten abfielen. Dabei ist der Gehalt auf dem Standort 5 am stärksten gefallen, auf den Standorten 1, 3 und 4 ist er weniger gefallen und auf dem Standort 2 nur ganz leicht gefallen. Zur V. Zeiternte steigt der Gehalt auf dem Standort 5 stark an und ist dem Gehalt von Standort 6, der leicht abfällt, annähernd gleich. Die Gehalte auf den anderen Standorten sind fast gleich geblieben. Zum Zeitpunkt der Vollreife (VI. Ernte) steigen die Gehalte auf den Standorten 1 - 5 mäßig an, während der Gehalt auf dem Standort 6 stark abfällt.

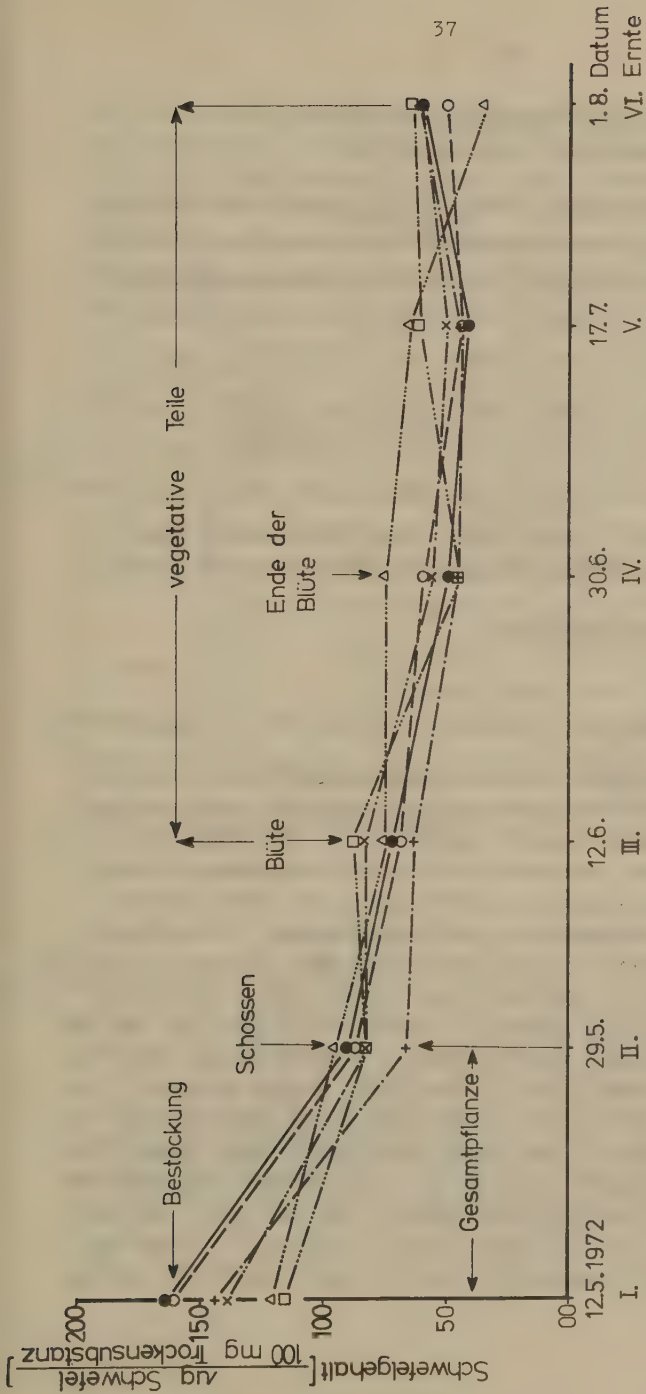
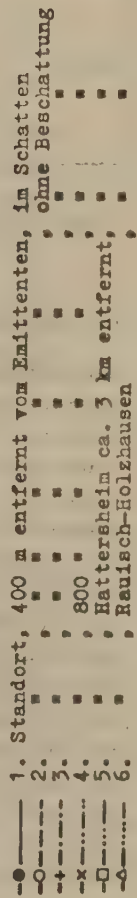


Abb. 9 : Org. gebundener Schwefel im Hafer 1972



Tab. 10 : Gehalt an org. gebundenem Schwefel
in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Hafer 1972

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Gesamt- pflanze	I.	163,8	162,5	143,8	141,0	116,0	121,0
	II.	90,0	88,8	67,5	85,0	85,0	96,0
Stroh	III.	72,5	70,0	65,0	86,0	87,5	67,5
	IV.	51,0	60,0	48,8	56,0	48,8	77,5
	V.	42,0	43,5	46,0	52,5	66,0	67,5
	VI.	60,0	51,0	61,0	61,0	60,8	38,0

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

Die Gehalte im Blatt sind in Tab. 11 und in Abb. 10 dargestellt.

Zum Zeitpunkt der Blüte sind die Gehaltsunterschiede innerhalb der 6 Standorte groß. Bis zum Ende der Blütezeit sind die Gehalte auf dem Standort 6 mäßig gefallen, auf dem Standort 4 stark gestiegen, auf dem Standort 2 leicht gestiegen, so daß diese drei Gehalte annähernd gleich sind. Der Gehalt auf dem Standort 5 ist stark gefallen, auf dem Standort 3 mäßig gefallen, auf dem Standort 1 fast gleich geblieben, so daß auch diese drei Gehalte etwa auf gleicher Höhe liegen. Zur V. Zeiternte ist der Gehalt auf dem Standort 6 weiter mäßig gefallen und auf den Standorten 2 und 4 stark gefallen. Damit sind die Gehaltsunterschiede zwischen diesen 3 Standorten größer geworden. Die Gehalte auf den Standorten 1 und 5 sind mäßig gefallen, der Gehalt auf dem Standort 3 ist gleich geblieben. Damit haben sich die Gehaltsunterschiede zwischen den 3 Standorten gegenüber der IV. Ernte wieder wesentlich vergrößert. Zum Zeitpunkt der Vollreife (VI. Ernte) ist der Gehalt auf dem Standort 6 stark gefallen und hat mit einem Gehalt von $55,0 \mu\text{g}$ Schwefel in 100 mg

Trockensubstanz den tiefsten Punkt erreicht. Die Gehalte auf den Standorten 2, 3 und 5 sind etwa gleich geblieben und die Gehalte auf den Standorten 1 und 4 sind angestiegen. Die Gehalte auf den Standorten 1, 3 und 4 liegen zwischen 95 und 100 μg , die Gehalte auf den Standorten 2 und 5 liegen bei 76,0 μg bzw. 77,5 μg Schwefel, jeweils in 100 mg Trockensubstanz.

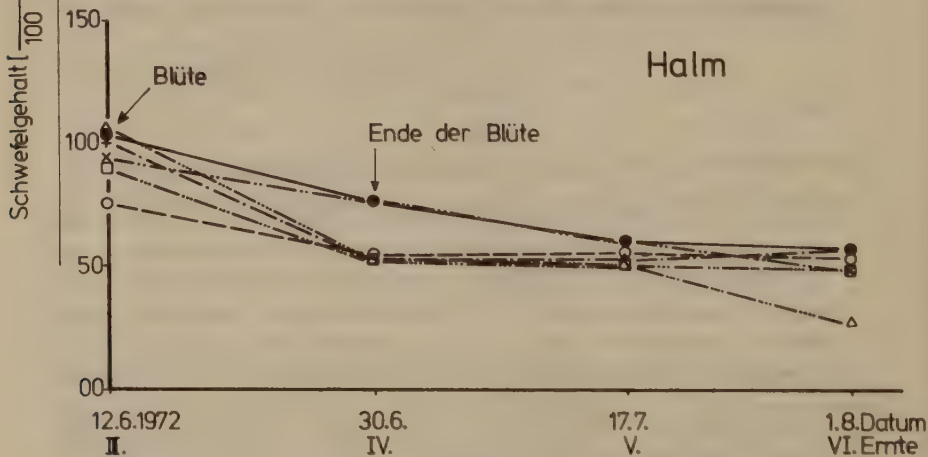
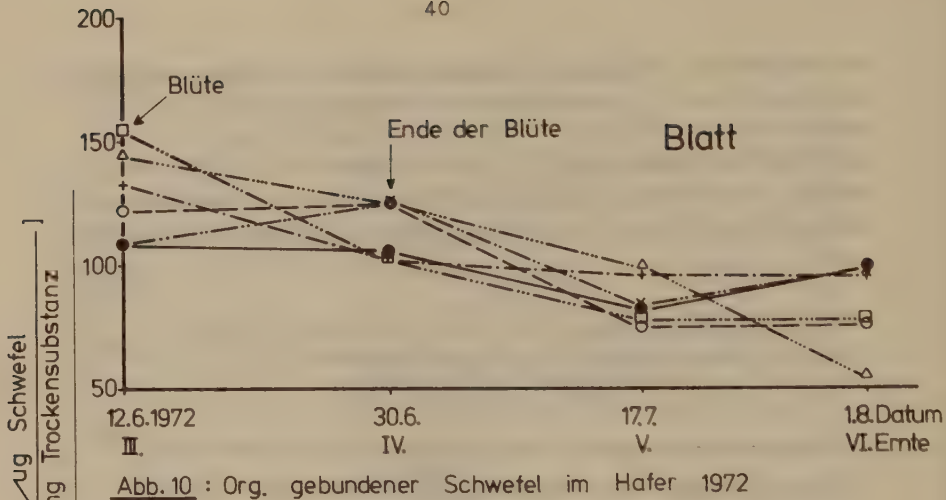
Tab. 11 : Gehalt an org. gebundenem Schwefel
in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Hafer 1972

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Blatt	III.	108,8	122,5	132,5	108,8	155,0	146,0
	IV.	106,0	125,0	101,0	128,8	105,0	126,0
	V.	83,8	75,0	96,0	83,8	78,8	101,0
	VI.	100,0	76,0	95,0	98,8	77,5	55,0

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

Die Gehalte im Halm sind in Tab. 12 und in Abb. 11 dargestellt.

Zum Zeitpunkt der Blüte ist der Unterschied der Gehalte auf den 6 Standorten relativ groß. Am Ende der Blüte sind die Gehalte auf den Standorten 1, 2 und 4 stark und auf den Standorten 3, 5 und 6 sehr stark gefallen. Damit ergeben sich wiederum 2 Gruppen von Standorten, wobei in der einen Gruppe mit den Standorten 1 und 4 die Schwefelgehalte etwa bei 77,5 μg liegen; in der anderen Gruppe liegen die Schwefelgehalte auf einem wesentlich niedrigeren Niveau, etwa zwischen 51,0 und 55,0 $\mu\text{g S}/100 \text{ mg}$ Trockensubstanz. Zur V. Zeiternte sind die Gehalte auf den Standorten 1 und 4 ziemlich stark und auf dem Standort 5 leicht gefal-



- | | | |
|------|----|--|
| ●— | 1. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| ○--- | 2. | " " " " " " " " " " " " |
| +--- | 3. | " " " " " " " " " " " " |
| x--- | 4. | " " " " " " " " " " " " |
| □--- | 5. | " " " " " " " " " " " " |
| △--- | 6. | " " " " " " " " " " " " |
- ohne Beschattung

len, während sie auf den Standorten 2, 3 und 6 leicht gestiegen sind. Dadurch haben sich die Gehalte auf allen Standorten weitgehend angenähert und liegen in einem Bereich zwischen 50,0 und 60,0 $\mu\text{g S}/100 \text{ mg}$ Trockensubstanz. Zur VI. Ernte ist der Gehalt - ähnlich wie bei Blatt - auf dem Standort 6 sehr stark abgefallen. Die Gehalte auf den Standorten 1, 2, 4 und 5 sind in unterschiedlicher Stärke abgesunken und lediglich auf dem Standort 3 ist ein mäßiger Anstieg feststellbar.

Tab. 12 : Gehalt an org. gebundenem Schwefel
in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Hafer 1972

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Halm	III.	103,8	76,0	101,0	95,0	92,5	106,0
	IV.	77,5	55,0	51,0	76,0	52,5	51,0
	V.	60,0	56,0	52,5	58,8	50,0	52,5
	VI.	57,5	52,5	57,5	47,5	47,5	27,5

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

Die Gehalte im Korn sind in Tab. 13 und in Abb. 12 dargestellt.

Aus der Abbildung 12 geht hervor, daß die Fraktion des organisch gebundenen Schwefels mit zunehmender Reife ansteigt.

Zu dem Gehalt auf dem Standort 3 können nur teilweise Angaben gemacht werden, weil das Untersuchungsmaterial der V. und VI. Ernte verlorengegangen ist.

Zur IV. Ernte sind die Gehalte auf den Standorten 1 - 5 annähernd gleich, auf dem Standort 6 ist der Gehalt etwas höher. Zur V. Zeiternte ergibt sich ein deutlicher Unterschied zwischen dem Gehalt auf dem Standort 1, der niedriger liegt als die Gehalte auf den übrigen Standorten. Zur VI. Ernte steigen die Gehalte auf den Standorten 2, 4, 5 und 6 etwa gleichförmig an, dagegen ergibt sich auf dem Standort 1 ein so starker Anstieg, daß auf diesem Standort der höchste Gehalt in der VI. Ernte erreicht wird.

Tab. 13 : Gehalt an org. gebundenem Schwefel
in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Hafer 1972

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Korn	IV.	90,0	90,0	92,5	101,0	93,8	118,8
	V.	122,5	141,0	-	140,0	145,0	147,5
	VI.	172,5	163,8	-	163,8	156,0	157,5

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

3.1.2.2. Anorg. gebundener Schwefel

Hafer 1971

Die Gehalte im Jahre 1971 sind in Tab. 14 und in Abb. 13 dargestellt.

Im Verlauf der Vegetation beziehen sich auch hier die Gehaltsangaben bis zur VI. Ernte einschließlich auf die gesamte Pflanze. Das Material der VII. und VIII. Ernte wurde getrennt nach Korn und Stroh analysiert.

Der Verlauf der Gehaltskurven zeigt im allgemeinen starken Anstieg bis zur II. Ernte, dann einen starken Abfall bis zur V. Ernte und einen mäßigen Anstieg von der V. zur VI. Zeiternte.

Zum Zeitpunkt der Bestockung liegt der Gehalt auf dem Standplatz 2 am höchsten und fällt bis zur Phase des Schossens am stärksten ab. Auf den Standplätzen 1 und 3 entspricht der Abfall zu der III. Ernte etwa dem Anstieg von der I. zur II. Ernte. Bis zur Blüte verläuft der Abfall der Gehalte auf allen 3 Standplätzen in gleichem Maße. Zur V. Ernte verlaufen die Gehalte auf den Standplätzen 1 und 3 parallel, während der Gehalt auf dem Standplatz 2 weniger abfällt. Zur VI. Ernte steigen die Gehalte auf den Standplätzen 1 und 2 in gleichem Maße, auf dem Standplatz 3 etwas stärker, so daß am Ende die Gehalte auf allen 3 Standplätzen sich einander annähern.

Beim Stroh sind zur VII. Ernte die Gehalte auf allen 3 Standplätzen etwa gleich. Zur VIII. Ernte ist der Gehalt auf dem Standplatz 3 gleichgeblieben, auf den Standplätzen 1 und 2 mäßig angestiegen.

Beim Korn liegen zur VII. Ernte die Gehalte unterschiedlich, und zwar auf Standplatz 1 am höchsten, gefolgt von den Gehalten der Standplätze 3 und 2. Zu der VIII. Ernte sind dagegen die Gehalte nahezu gleich.

Tab. 14 : Gehalt an anorg. gebundenem Schwefel
in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Hafer 1971

Material	Ernte	1. Standplatz im Schatten	2. Standplatz ohne Beschattung	3. Standplatz im Halbschatten
Gesamt- pflanze	I.	308,8	308,8	308,8
	II.	433,8	465,0	392,5
	III.	338,8	308,8	305,0
	IV.	235,0	212,5	205,0
	V.	163,8	158,8	141,0
	VI.	186,0	181,0	171,0
Stroh	VII.	246,0	242,5	245,0
	VIII.	265,0	261,0	241,0
Korn	VII.	91,0	42,5	62,5
	VIII.	51,0	43,8	41,0

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

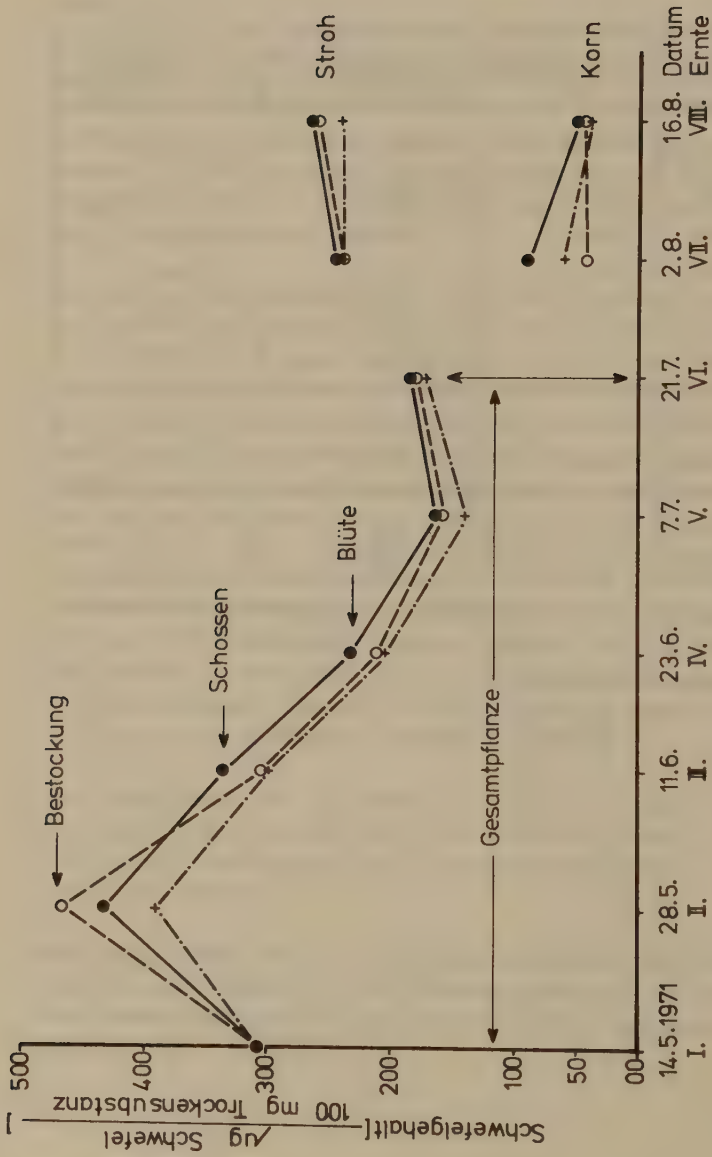


Abb. 13 : Anorg. gebundener Schwefel im Hafer 1971

—●— 1. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 -○- 2. ohne Beschattung
 -+- 3. im Halbschatten

Hafer 1972

Die Gehalte im Stroh sind in Tab. 15 und in Abb. 14 dargestellt.

Bei den ersten 2 Ernten beziehen sich auch hier die Gehaltsangaben auf die gesamte Pflanze. Danach wurde das Material getrennt nach Stroh und Korn analysiert und bei Stroh eine weitere Auftrennung in Blatt und Halm vorgenommen.

Der Verlauf der Gehaltsskurven zeigt im allgemeinen mit fortschreitender Entwicklung einen Abfall, wobei sich die einzelnen Standorte unterschiedlich verhalten.

Auf Standort 2 erfolgt dieser Abfall nur bis zur II. Ernte, während in den folgenden Ernten die Gehalte etwa gleich bleiben. Auf Standort 1 ist der Abfall mit der III. Ernte beendet und es folgt ein mäßiger Anstieg. Die Gehalte der Standorte 3, 4 und 5 fallen bis zur IV. Ernte unterschiedlich stark ab, steigen dann in der V. Ernte leicht an und liegen zur VI. Ernte etwa auf gleichem Niveau. Auf Standort 6 folgen die Gehalte bis zur IV. Ernte dem allgemeinen Trend, verhalten sich in der V. und VI. Ernte aber sehr abweichend, indem sie stark abfallen.

Bemerkenswert ist in der Abbildung 14, daß bei großen Gehaltsunterschieden während der Vegetationsperiode, diese sich in der V. und VI. Ernte weitgehend angleichen, mit Ausnahme von Standort 6 und teilweise Standort 5.

Tab. 15 : Gehalt an anorg. gebundenem Schwefel
in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Hafer 1972

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Gesamtpflanze	I.	436,0	432,5	413,8	462,5	462,5	435,0
	II.	337,5	311,0	388,8	442,5	391,0	388,8
Stroh	III.	271,0	296,0	337,5	368,8	285,0	286,0
	IV.	263,8	310,0	288,8	262,5	216,0	257,5
	V.	307,5	291,0	306,0	285,0	287,5	233,8
	VI.	290,0	306,0	290,0	313,8	258,8	138,8

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

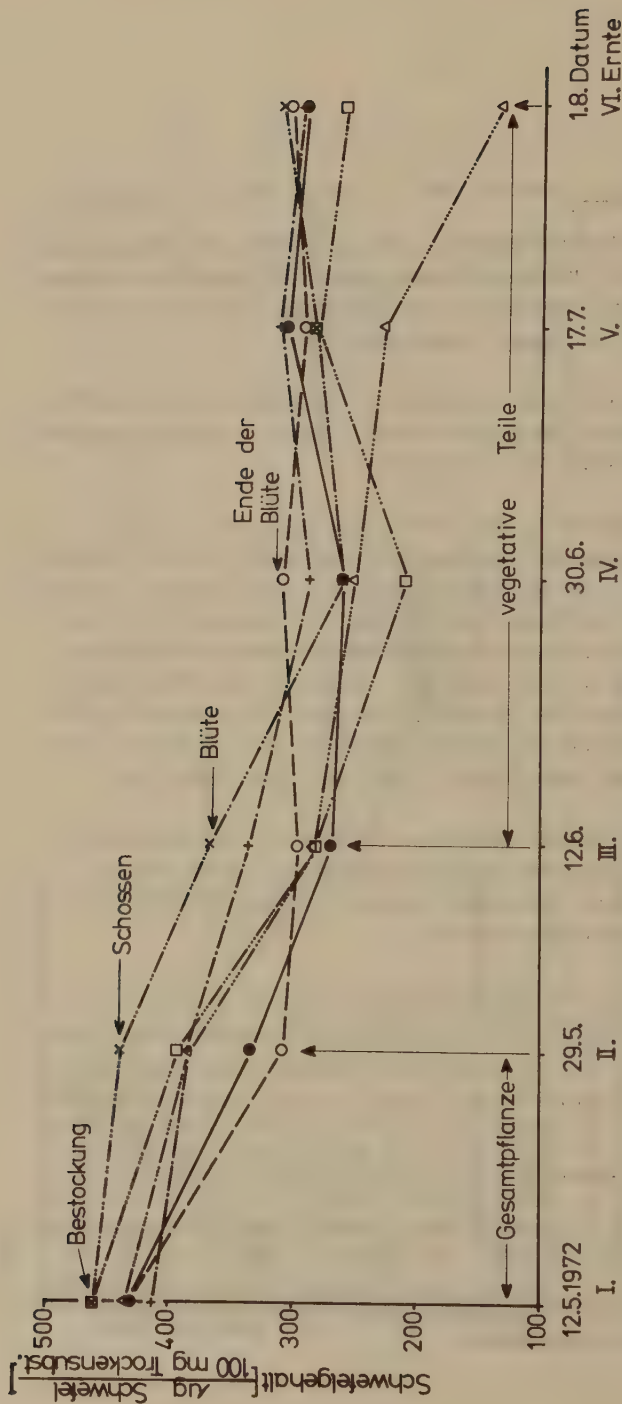


Abb. 14 : Anorg. gebundener Schwefel im Hafer 1972

- 1. Standard, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
- - - 2. " " " " " " " " " " " "
- + - 3. " " " " " " " " " " " "
- x - 4. " " " " " " " " " " " "
- o - 5. " " " " " " " " " " " "
- △ - 6. " " " " " " " " " " " "

Ab der III. Ernte wurde eine weitere Untersuchung der Gehalte von Blatt und Halm durchgeführt.

Die Gehalte im Blatt sind in Tab. 16 und in Abb. 15 dargestellt.

Die Gehaltsunterschiede sind in der Periode der Blüte innerhalb der 6 Standorte relativ groß. Bis zum Ende der Blüte sind die Gehalte auf den Standorten 5 und 6 etwa gleich geblieben, auf den Standorten 1 und 2 stark gestiegen und auf dem Standort 3 mäßig gestiegen. Eine deutliche Ausnahme macht der Standort 4, auf dem die Gehalte stark gefallen sind.

Bis zur VI. Ernte nehmen die Gehaltskurven der Standorte 1, 3 und 5 einen ähnlichen Verlauf, indem sie auf unterschiedlichem Niveau in der V. Ernte ansteigen und zur VI. Ernte diese abnehmen. Die Gehalte auf dem Standort 4 bleiben bis zur VI. Ernte auf gleicher Höhe, während die Gehalte auf den Standorten 2 und 6 fortlaufend abnehmen, wobei die Gehalte auf Standort 6 sehr wesentlich unter den übrigen Standorten liegen.

Tab. 16 : Gehalt an anorg. gebundenem Schwefel
in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Hafer 1972

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Blatt	III.	286,0	331,0	340,0	413,8	311,0	315,0
	IV.	366,0	416,0	390,0	366,0	316,0	313,8
	V.	411,0	367,5	415,0	363,8	367,5	291,0
	VI.	336,0	338,8	386,0	362,5	343,8	128,8

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

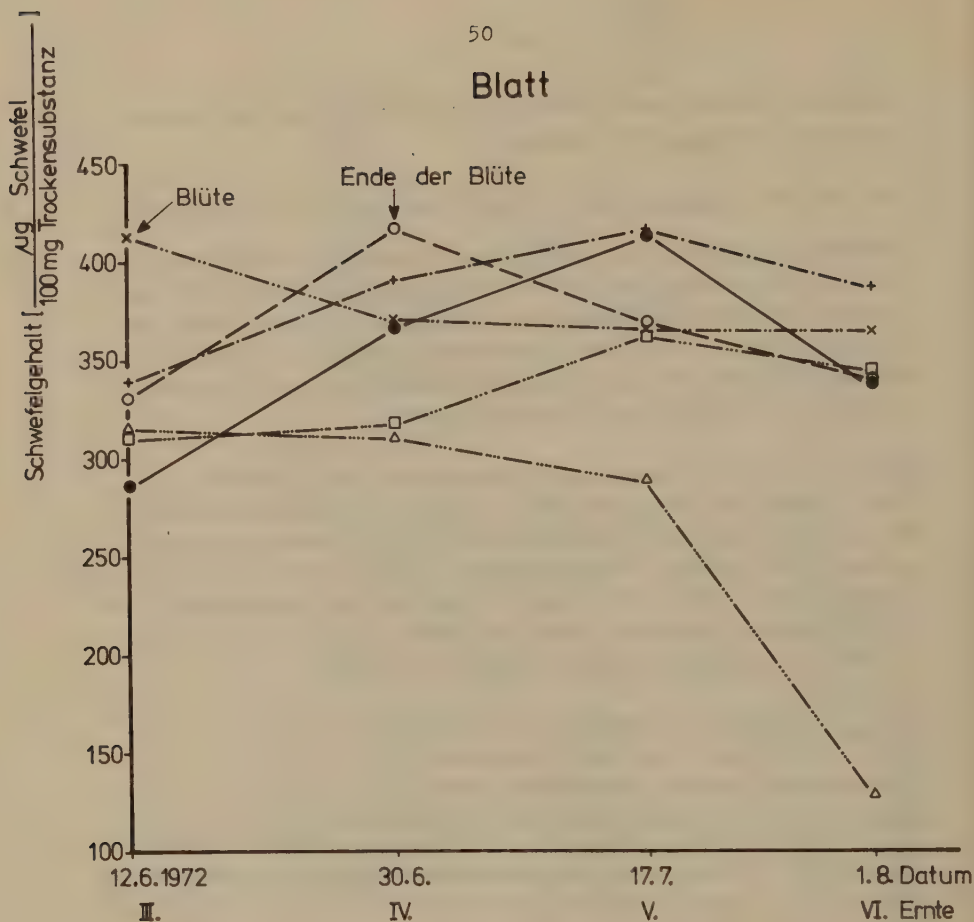


Abb. 15 : Anorg. gebundener Schwefel im Hafer 1972

- | | |
|----|--|
| 1. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| 2. | " " " " " " " " ohne Beschattung |
| 3. | " " " " " " " " " " " " |
| 4. | " " " " " " " " " " " " |
| 5. | " " " " " " " " " " " " |
| 6. | " " " " " " " " " " " " |

Die Gehalte im Halm sind in Tab. 17 und in Abb. 16 dargestellt.

Allgemein ist dazu festzustellen, daß der Verlauf der Gehaltskurven völlig anders ist als beim Blatt, und zwar verlaufen die Kurven weitgehend gegensinnig, so daß die relativ gleichmäßig verlaufenden Kurven im Stroh aus einer Kompensation der Gehalte in Blatt und Halm resultieren.

Bis zur V. Ernte zeigen die Gehalte - mit Ausnahme des Standorts 1 - einen deutlichen Abfall und steigen bis zur VI. Ernte auf allen Standorten stark bis mäßig an. Zum Zeitpunkt der Blüte sind die Gehalte auf den Standorten 2, 3 und 4 sehr wenig verschieden. Auf den Standorten 1, 5 und 6 sind die Gehalte jeweils wesentlich geringer als auf den vorhergehenden Standorten. Am Ende der Blüte haben sich die Unterschiede in den Gehalten der Standorte 2, 3 und 4 etwas vergrößert, während sich die Gehalte auf den Standorten 1, 5 und 6 stark angenähert haben. Zu der V. Ernte ergibt sich etwa die gleiche Reihenfolge in den Gehalten, mit einer deutlichen Ausnahme von Standort 1, bedingt durch den starken Anstieg von der IV. zur VI. Ernte. Die größten Unterschiede in den Gehalten an anorganisch gebundenem Schwefel sind im Material der VI. Ernte feststellbar, und zwar ergibt die Höhe des Gehaltes nachstehende Reihenfolge der Standorte: 1, 3, 4, 2, 5 und 6.

Dabei liegt der Schwefelgehalt auf dem Standort 1 etwa bei 193,0 μg und der Gehalt auf Standort 6 etwa bei 113,0 $\mu\text{g}/100 \text{ mg}$ Trockensubstanz.

Tab. 17 : Gehalt an anorg. gebundenem Schwefel
in $\mu\text{g}/100 \text{ mg}$ ATM* bei Hafer 1972

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Halm	III.	153,8	217,5	217,5	216,0	183,8	140,0
	IV.	116,0	156,0	152,5	142,5	116,0	115,0
	V.	141,0	140,0	123,8	120,0	113,8	103,8
	VI.	193,8	165,0	173,8	176,0	141,0	113,8

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

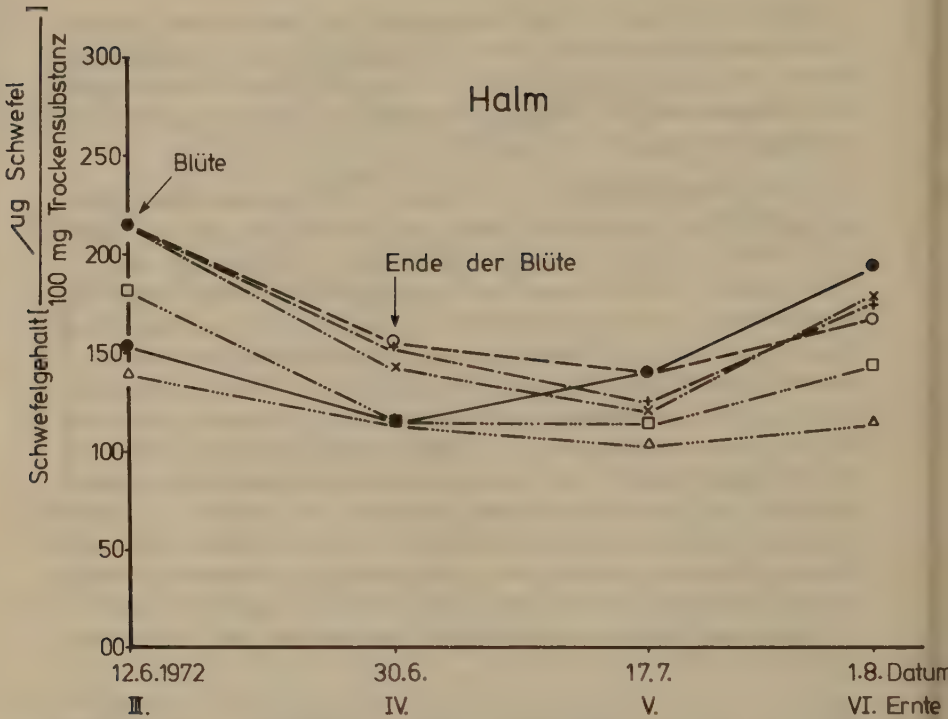


Abb. 16: Anorg gebundener Schwefel im Hafer 1972

- — 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 - — 2. " " " " " " " " " " " "
 - + — 3. " " " " " " " " " " " "
 - x — 4. " " " " " " " " " " " "
 - — 5. " " " " " " " " " " " "
 - △ — 6. " " " " " " " " " " " "
- ; 800 " " " " " " " " " " " "
 ; Hattersheim ca. 3 km entfernt, " " " "
 ; Rauisch-Holzhausen " " " "

Die Gehalte im Korn sind in Tab. 18 und in Abb. 17 dargestellt.

Aus der Abbildung 17 geht hervor, daß die Fraktion des anorganisch gebundenen Schwefels mit zunehmender Reife abfällt.

Zu dem Gehalt auf dem Standort 3 können nur teilweise Angaben gemacht werden, weil das Untersuchungsmaterial der V. und VI. Ernte verlorengegangen ist.

Zur IV. Ernte sind die Gehaltsunterschiede zwischen den Standorten 1, 2, 3, 5 und 6 gering, auf dem Standort 4 liegt der Gehalt deutlich höher. Zur V. Ernte sind die Gehalte auf den jetzt noch zu beschreibenden 5 Standorten mäßiger oder stärker gefallen, so daß alle Gehalte nicht wesentlich von einander verschieden sind. Zur VI. Ernte sind die Gehalte auf den Standorten 1, 2, 4 und 5 in gleicher Weise mäßig gefallen und auf dem Standort 6 ziemlich stark gefallen, so daß auf diesem Standort die niedrigsten Gehalte auftreten.

Tab. 18 : Gehalt an anorg. gebundenem Schwefel
in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Hafer 1972

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Korn	IV.	126,0	123,8	136,0	140,0	122,5	120,0
	V.	71,0	65,0	-	73,8	71,0	73,8
	VI.	41,0	45,0	-	45,0	42,5	26,0

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

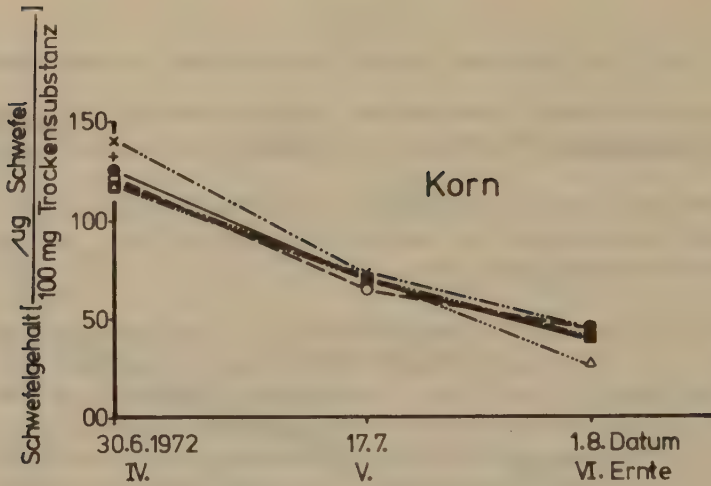


Abb. 17 : Anorg. gebundener Schwefel im Hafer 1972

- | | |
|-----|---|
| —●— | 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| —○— | 2. " " " " " " " " " " ohne Beschattung |
| —+— | 3. " " " " " " " " " " " " |
| —x— | 4. " " " " " " " " " " " " |
| —□— | 5. " " " " " " " " " " " " |
| —△— | 6. " " " " " " " " " " " " |

3.1.2.3. Gesamtschwefel

Hafer 1971

Die Gehalte im Jahre 1971 sind in Tab. 19 und in Abb. 18 dargestellt.

Im Verlauf der Vegetation beziehen sich die Gehaltsangaben bis zur VI. Ernte einschließlich auf die gesamte Pflanze. Das Material der VII. und VIII. Ernte wurde getrennt nach Korn und Stroh analysiert.

Der Verlauf der Gehaltskurven ist nahezu identisch mit dem Verlauf der Gehaltskurven des anorganisch gebundenen Schwefels (vgl. Abb. 13) und damit der Sulfataufnahme. Im allgemeinen ergibt sich ein starker Anstieg bis zur II. Ernte, dann ein starker Abfall bis zur IV. Ernte und ein etwas geringerer Abfall bis zur V. Ernte. Von der V. zur VI. Ernte nehmen die Gehalte auf allen Standplätzen wieder zu.

Zur VII. Ernte sind die Gehalte im Stroh auf den 3 Standplätzen fast gleich. Zur VIII. Ernte sind die Gehalte etwas unterschiedlich.

Zur VII. Ernte sind die Gehalte im Korn unterschiedlich und zur VIII. Ernte annähernd gleich. Der Vergleich der Standplätze zeigt, daß die Unterschiede relativ gering sind.

Die Gehalte auf den Standplätzen 1 und 3 verlaufen bis zur VI. Ernte in etwa gleicher Weise, wobei auf dem Standplatz 1 bis zum Zeitpunkt der Bestockung der Anstieg etwas stärker und von der V. zur VI. Ernte etwas schwächer ist.

Auf dem Standplatz 2 ist der Aufstieg bis zur II. Ernte ebenso stark wie beim Standplatz 1. Bis zum Schossen ist der Abfall stärker, bis zur Blüte schwächer und bis zur V. Ernte noch schwächer als bei Standplatz 1. Zur VI. Ernte sind die Gehalte

auf den Standplätzen 1 und 2 mäßig und auf dem Standplatz 3 ziemlich stark angestiegen, so daß die Gehalte auf den 3 Standplätzen einander nahekamen.

Von der VII. zur VIII. Ernte sind die Gehalte im Stroh auf den Standplätzen 1 und 2 in gleicher Weise mäßig gestiegen, während der Gehalt auf dem Standplatz 3 gleich geblieben ist.

Von der VII. zur VIII. Ernte ist der Gehalt im Korn auf dem Standplatz 2 wesentlich angestiegen, während die Gehalte auf den Standplätzen 1 und 3 leicht abgefallen sind. Damit sind die Gehalte auf den 3 Standplätzen zur VIII. Ernte beinahe gleich.

Tab. 19 : Gesamtschwefelgehalt in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Hafer 1971

Material	Ernte	1. Standplatz im Schatten	2. Standplatz ohne Beschattung	3. Standplatz im Halbschatten
Gesamt- pflanze	I.	447,5	447,5	447,5
	II.	575,0	576,0	526,0
	III.	421,0	387,5	368,8
	IV.	297,5	296,0	273,8
	V.	232,5	246,0	198,8
	VI.	247,5	263,8	236,0
Stroh	VII.	285,0	281,0	278,8
	VIII.	301,0	298,8	272,5
Korn	VII.	217,5	171,0	208,0
	VIII.	198,8	185,0	185,0

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

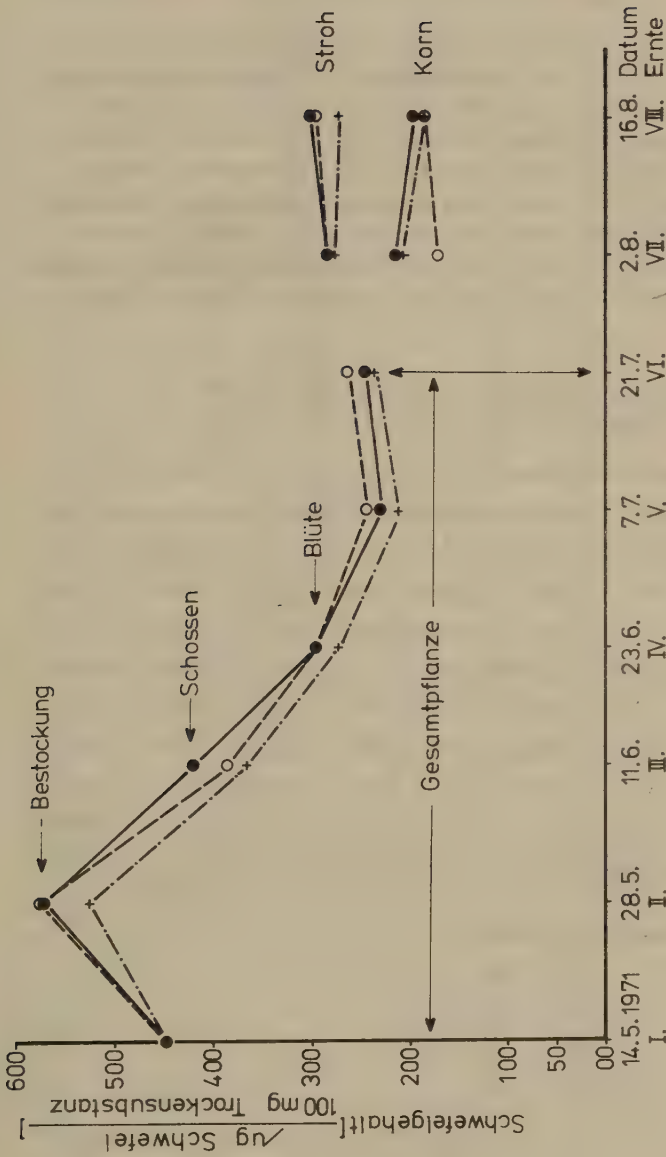


Abb. 18 : Gesamtschwefelgehalte im Hafer 1971

Hafer 1972

Die Gehalte im Stroh sind in Tab. 20 und in Abb. 19 dargestellt.

Der Gesamtverlauf der Gehaltskurven ist auch hier nahezu identisch mit dem Verlauf der Gehaltskurven des anorganisch gebundenen Schwefels (vgl. Abb. 14), so daß die dort vorgenommene Gegenüberstellung der Standorte auch für die Gehalte an Gesamtschwefel im wesentlichen zutrifft. Diese Erscheinung beruht darauf, daß sich der Anteil des organisch gebundenen Schwefels ab der II. Ernte (Schossen) bis zum Ende der Vegetation nicht wesentlich ändert, so daß sich zwischen Gesamt- und anorganisch gebundenem Schwefel immer eine etwa gleiche Differenz ergibt.

Tab. 20 : Gesamtschwefelgehalte in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$
bei Hafer 1972

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Gesamtpflanze	I.	600,0	595,0	557,5	603,8	578,8	556,0
	II.	427,5	400,0	456,0	527,5	476,0	435,0
Stroh	III.	343,8	366,0	402,5	455,0	372,5	353,8
	IV.	315,0	370,0	337,5	318,8	265,0	335,0
	V.	349,8	334,8	352,5	337,5	353,8	301,0
	VI.	350,0	357,5	351,0	375,0	319,5	177,0

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

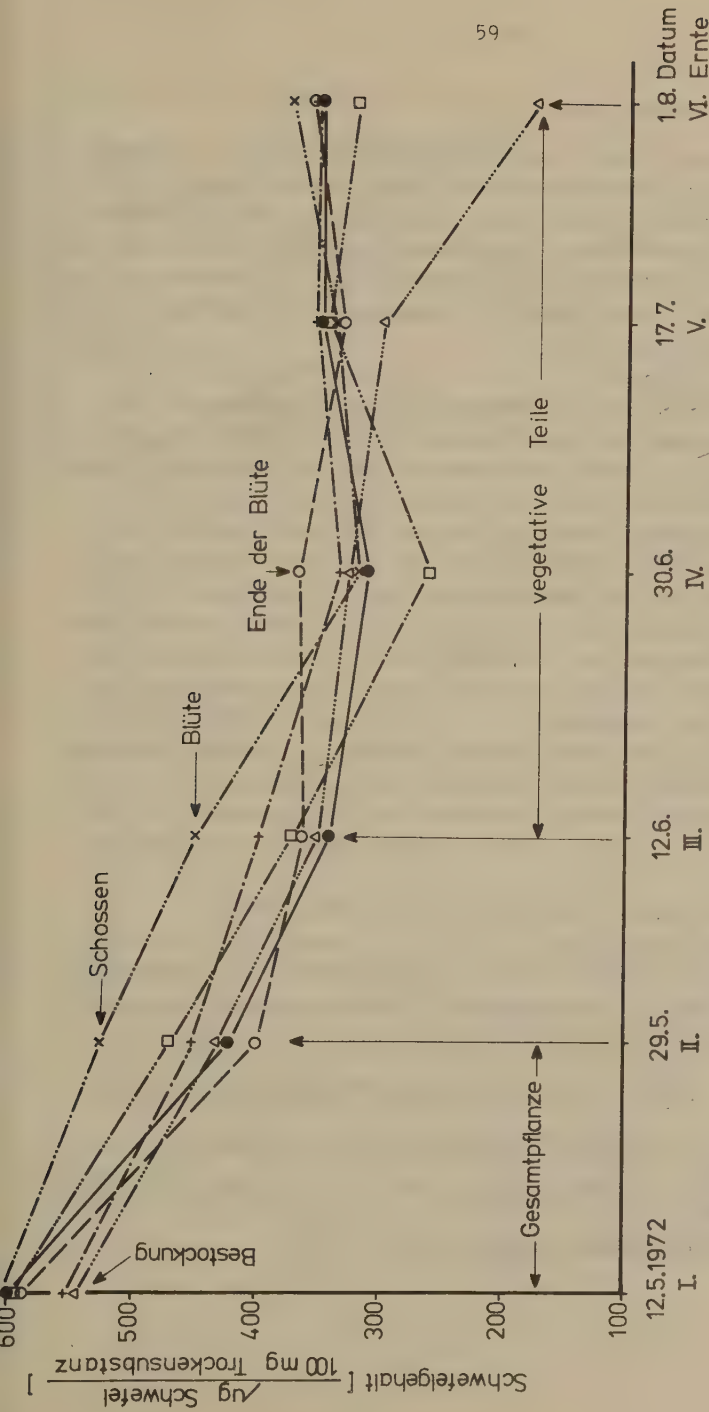


Abb. 19 : Gesamtschwefelgehalte im Hafer 1972

- | | | |
|----|----|---|
| 1. | ● | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten ohne Beschattung |
| 2. | ○ | " " " " " " |
| 3. | +— | " " " " " " |
| 4. | x | " " " " " " |
| 5. | □ | Hattersheim ca. 3 km entfernt, " " " " |
| 6. | ◇ | Rauisch-Holzhausen " " " " |

Die Gehalte im Blatt sind in Tab. 21 und in Abb. 20 dargestellt.

Die Gehaltsunterschiede sind im Zeitpunkt der Blüte zwischen Standort 1 (mit niedrigstem Gehalt) und Standort 4 (mit höchstem Gehalt) relativ groß, während die Gehalte auf den Standorten 2, 3, 5 und 6 einander annähernd gleichen und etwa in der Mitte zwischen den Standorten 1 und 4 liegen. Innerhalb der einzelnen Ernten ist der Verlauf der Gehalte mit wenigen Ausnahmen deutlich verschieden.

Am Ende der Blüte sind die Gehalte auf den Standorten 1 und 2 stark angestiegen, auf den Standorten 4 und 5 mäßig gefallen, auf dem Standort 3 mäßig gestiegen und auf dem Standort 6 leicht gefallen. Zur V. Ernte ist der Gehalt auf dem Standort 2 mit Abstand am stärksten gefallen und erreicht somit wieder das Niveau bei der III. Ernte. Der Gehalt auf dem Standort 4 ist mäßig gefallen und auf dem Standort 5 mäßig gestiegen, so daß die Gehalte auf den Standorten 2, 4 und 5 einander gleich sind. Auf den Standorten 1 und 3 sind die Gehalte mäßig gestiegen und auf dem Standort 6 mäßig gefallen. Zur VI. Zeiternte sind die Gehalte auf den Standorten 1, 2, 3 und 5 mäßig gefallen und auf dem Standort 6 sehr stark gefallen, so daß auf diesem Standort ein extrem niedriger Wert gegenüber den anderen Standorten feststellbar ist. Eine gewisse Ausnahme macht der Standort 4, auf dem der Gehalt von der V. zur VI. Ernte leicht angestiegen ist.

Tab. 21 : Gesamtschwefelgehalte in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$
bei Hafer 1972

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Blatt	III.	395,0	453,8	427,5	522,5	466,0	461,0
	IV.	472,5	541,0	491,0	492,0	421,0	440,0
	V.	495,0	442,5	511,0	447,5	446,0	392,5
	VI.	436,0	415,0	481,0	461,0	421,0	183,8

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

Die Gehalte im Halm sind in Tab. 22 und in Abb. 21 dargestellt.

Im allgemeinen ist hier festzustellen, daß der Gesamtverlauf der Gehaltskurven gegenüber dem Verlauf der Gehaltskurven bei anorg. gebundenem Schwefel ähnlich ist (vgl. Abb. 16), allerdings sind die Differenzierungen der Standorte weniger ausgeprägt.

Zum Zeitpunkt der Blüte liegen die Gehalte auf den Standorten 3 und 4 nahezu gleich. Auf den Standorten 1, 2, 5 und 6 sind die Gehalte jeweils wesentlich geringer als auf den vorher genannten Standorten. Zum Ende der Blüte vergrößern sich die Gehaltsunterschiede auf den Standorten 3 und 4 und nähern sich den Gehalten auf den Standorten 1 und 2 an. Auch die Gehalte auf den Standorten 5 und 6 gleichen sich einander an. Zur V. Ernte steigt der Gehalt auf dem Standort 1 ziemlich stark und auf Standort 5 mäßig an, die Gehalte auf den Standorten 2, 3, 4 und 6 fallen leicht bis mäßig ab. Von der V. zur VI. Ernte steigen die Gehalte - mit Ausnahme Standort 6 - an. Auf Standort 6 fällt der Gehalt ab, was aus einem Abfall an org. gebundenem Schwefel resultiert. Die Höhe der Gesamtschwefelgehalte auf den einzelnen Standorten geht aus der nachstehenden Reihenfolge der Standorte hervor: 1, 3, 4, 2, 5 und 6, wobei der Gesamtschwefelgehalt auf Standort 1 bei 251,0 μg und der Gehalt auf Standort 6 bei 141,0 $\mu\text{g}/100$ mg Trockensubstanz liegt.

Tab. 22 : Gesamtschwefelgehalte in $\mu\text{g}/100$ mg ATM*
bei Hafer 1972

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Halm	III.	257,5	293,8	318,8	311,0	276,0	246,0
	IV.	193,8	211,0	203,8	218,8	168,8	176,0
	V.	201,0	196,0	176,0	178,8	163,8	156,0
	VI.	251,0	217,5	231,0	223,8	188,8	141,0

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

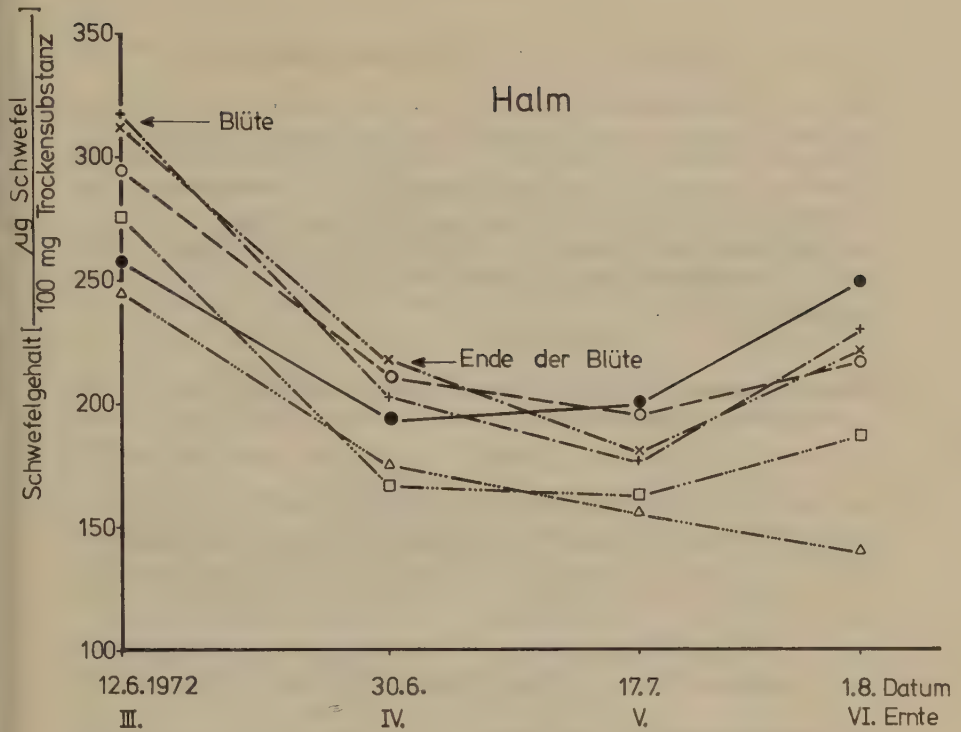


Abb. 21 : Gesamtschwefelgehalte im Hafer 1972

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
- 2. , , , , , ohne Beschattung
- 3. , , , , ,
- 4. , 800 , , ,
- 5. , Hattersheim ca. 3 km entfernt, ,
- 6. , Rausch-Holzhausen , ,

3.1.2.4. Roh- und Reinprotein

Hafer 1971

Die Roh- und Reinproteingehalte im Jahre 1971 sind in Tab. 24 und in Abb. 23 und 24 dargestellt.

Hier beziehen sich auch die Gehaltsangaben im Verlauf der Vegetation bis zur VI. Ernte einschließlich auf die gesamte Pflanze. Aus dem Material der VII. und der VIII. Ernte wurde nur Stroh analysiert, weil nicht genügend Kornmaterial zur Verfügung stand.

Der Verlauf der Gehaltskurven sowohl für Roh- als auch für Reinprotein zeigt im allgemeinen mit fortschreitender Entwicklung einen Abfall.

Vergleicht man die Differenzen zwischen den Roh- und Reinproteingehalten (s. Tab. 24) zu den einzelnen Erntezeitpunkten, so ergibt sich, daß diese von etwa 8 % zur I. Ernte mit fortschreitender Entwicklung auf etwa 1 - 2 % zur VI. Ernte abnehmen.

Standortunterschiede sind sowohl in den Gehalten von Roh- als auch Reinprotein nicht festzustellen.

Tabelle 24 : Proteingehalte in % ATM* (N. 6.25) im Hafer 1971

	Material	Ernte	1.Standplatz im Schatten	2.Standplatz ohne Beschattung	3.Standplatz im Halbschatten
Rohprotein	Gesamtpflanze	I.	40,0	40,0	40,0
		II.	35,9	35,0	32,9
		III.	23,0	22,0	24,0
		IV.	18,0	17,0	17,0
		V.	13,6	12,6	11,8
		VI.	11,0	10,0	10,0
Reinprotein	Gesamtpflanze	I.	32,0	32,0	32,0
		II.	-	28,7	29,5
		III.	18,9	17,5	17,5
		IV.	15,5	15,7	14,0
		V.	11,0	11,8	10,6
		VI.	7,7	8,9	9,0

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

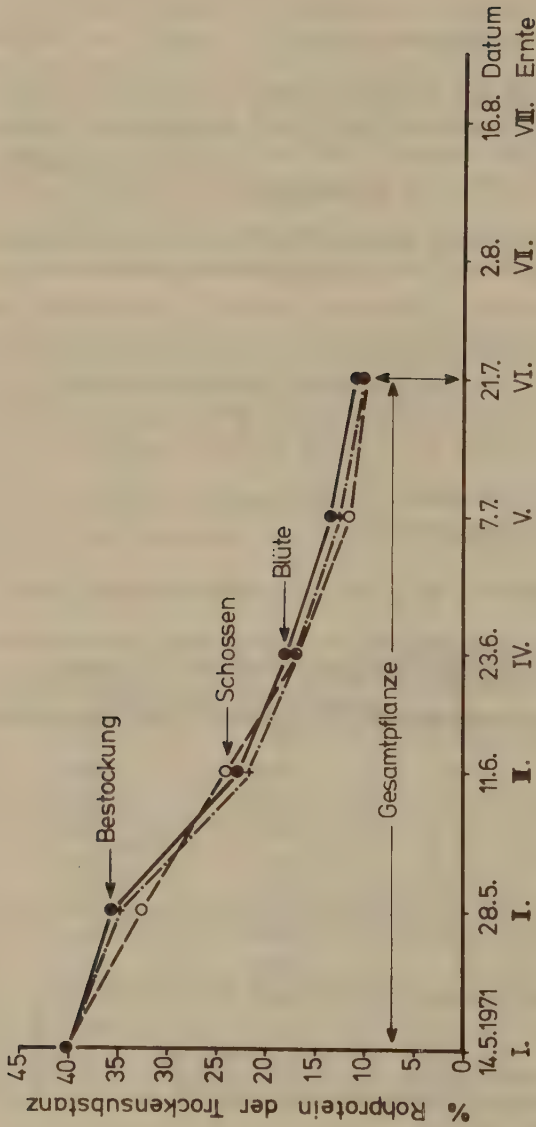
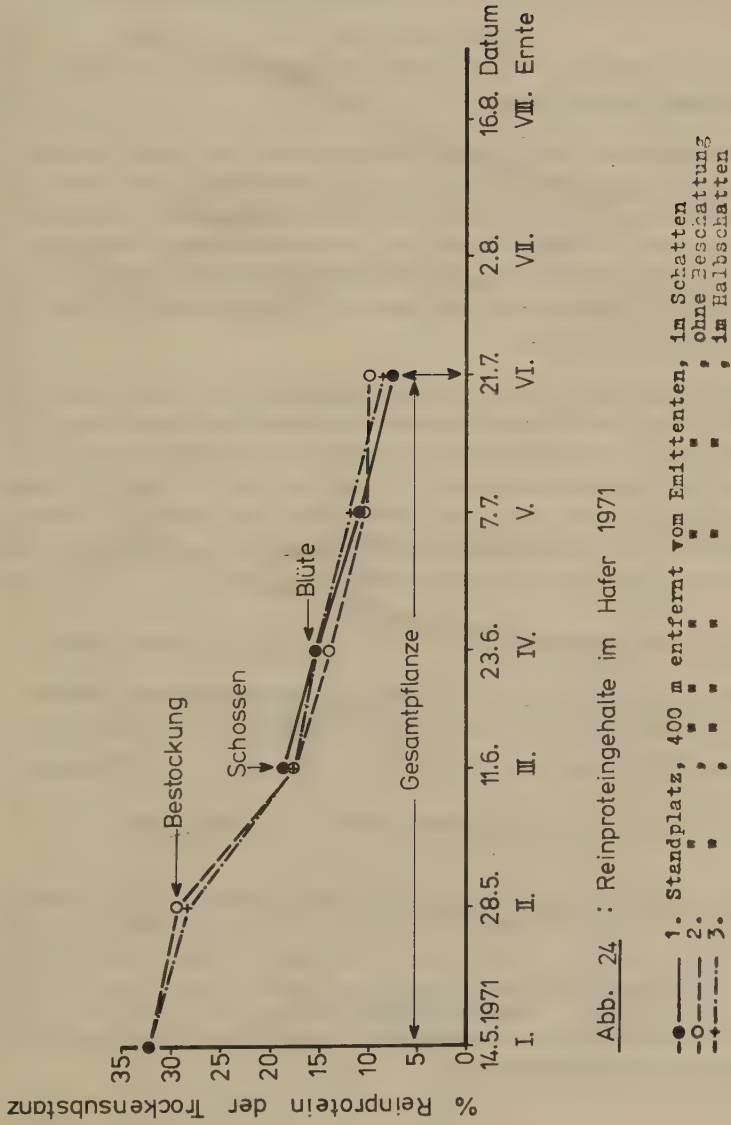


Abb. 23 : Rohproteingehalte im Hafer 1971

- 1. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 -○- 2. entfernt vom Emittenten, ohne Beschattung
 -+--- 3. im Halbschatten



Hafer 1972

Die Untersuchungen der Roh- und Reinproteingehalte wurden von der III. Zeiternte an getrennt nach Blatt, Halm und Korn durchgeführt.

Die Gehalte an Roh- und Reinprotein im Blatt sind in Tab. 25 und in Abb. 25 dargestellt.

Aus der Abbildung 25 ist ersichtlich, daß die Roh- und die Reinproteingehaltskurven im allgemeinen mit fortschreitender Entwicklung abfallen, wobei die Differenzen zwischen Roh- und Reinprotein geringer werden (s. Tab. 25). Standortunterschiede sind auch hier kaum vorhanden, jedoch weist der Standort 5 (Hattersheim) im Rohproteingehalt in der Tendenz niedrigere Werte auf als die übrigen Standorte.

Im Reinproteingehalt ergibt sich bei Standort 6 (Rauisch-Holzhausen) ein deutlicher Unterschied zu den anderen Standorten, indem zur III., IV. und V. Ernte die Gehalte wesentlich über dem Niveau der übrigen Standorte liegen. Von der V. zur VI. Ernte erfolgt dann ein sehr deutlicher Abfall auf dem genannten Standort, der dazu führt, daß in diesem Zeitpunkt der niedrigste Gehalt von allen Standorten nachgewiesen wird.

Tabelle 25 : Proteingehalte in % ATM* (N. 6.25) im Hafer 1972

	Material	Ernte	Standorte					
			1	2	3	4	5	6
Rohprotein	Blatt	III.	23,8	23,6	23,8	24,0	23,0	26,0
		IV.	20,0	20,0	18,8	19,6	16,0	18,6
		V.	11,9	11,0	10,0	10,0	8,9	12,0
		VI.	7,8	7,0	7,0	6,9	5,7	4,0
		III.	17,5	16,6	16,9	17,7	16,8	20,0
		IV.	11,0	10,9	11,0	11,7	11,0	16,5
		V.	7,9	7,0	7,0	7,7	5,7	11,0
		VI.	6,0	5,7	5,7	5,9	4,7	2,8

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

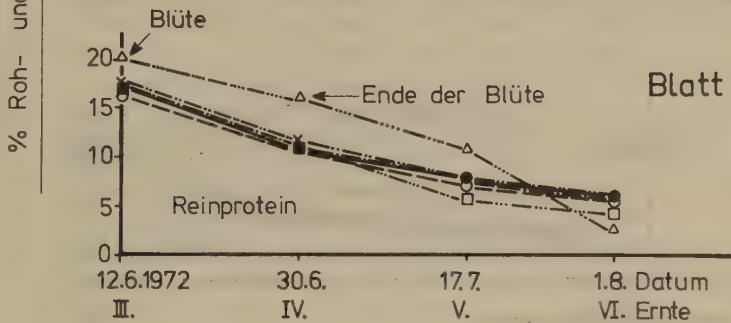
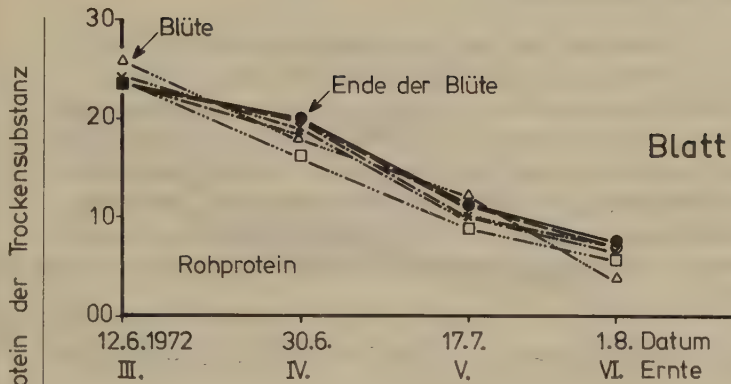


Abb.25 : Roh- und Reinproteingehalte im Hafer 1972

- | | | |
|---|----|--|
| ● | 1. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| ○ | 2. | 800 " " " " " " " " " " " " |
| + | 3. | " " " " " " " " " " " " |
| x | 4. | " " " " " " " " " " " " |
| □ | 5. | Hattersheim ca. 3 km entfernt, |
| △ | 6. | Rauisch-Holzhausen |

Die Gehalte an Roh- und Reinprotein im Halm sind in Tab. 26 und in Abb. 26 dargestellt.

Während im allgemeinen bei den Rohproteingehalten mit fortschreitender Entwicklung eine abfallende Tendenz zu sehen ist, fallen bei Reinprotein die Gehalte nur in der Zeitspanne zwischen III. und IV. Ernte wesentlich ab. In der übrigen Zeit verlaufen die Gehalte hier mit einer nicht wesentlichen Ausnahme gleichbleibend. Damit werden die Differenzen zwischen beiden Fraktionen im Laufe der Vegetation ebenfalls entsprechend geringer. Eindeutige Standortunterschiede sind hier nicht nachweisbar.

Tabelle 26 : Proteingehalte in % ATM* (N. 6.25) im Hafer 1972

	Material	Ernte	Standorte					
			1	2	3	4	5	6
Rohprotein	Halm	III.	17,8	20,0	17,8	18,0	16,0	15,8
		IV.	10,0	10,8	10,0	10,0	7,8	7,0
		V.	5,7	5,0	4,6	5,0	5,0	4,6
		VI.	4,8	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0
Reinprotein		III.	12,0	11,8	11,8	10,5	10,0	13,0
		IV.	3,5	4,0	4,0	4,5	4,0	5,0
		V.	3,0	2,7	2,5	3,0	3,0	3,8
		VI.	2,8	2,0	2,0	2,7	2,5	1,6

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

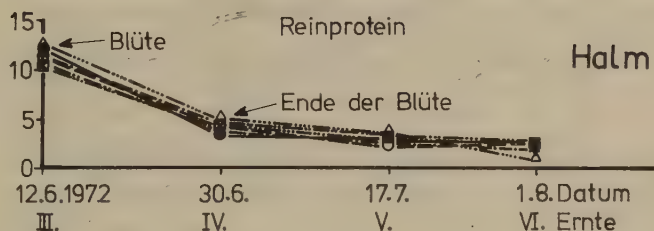
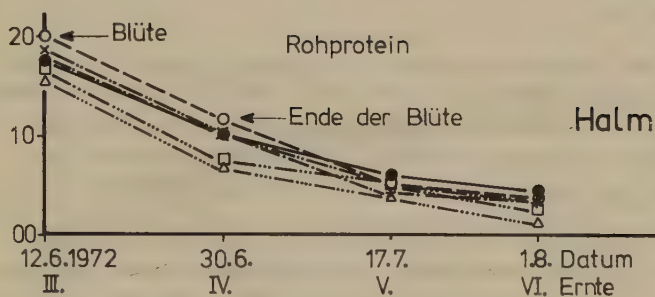


Abb. 26 : Roh- und Reinproteingehalte im Hafer 1972

- | | |
|----|--|
| 1. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| 2. | " " " " " " " " ohne Beschattung |
| 3. | " " " " " " " " " " " " |
| 4. | " " " " " " " " " " " " |
| 5. | " " " " " " " " " " " " |
| 6. | " " " " " " " " " " " " |

Die Gehalte an Roh- und Reinprotein im Korn sind in Tab. 27 und in Abb. 27 dargestellt.

Für den Standort 3 können nur teilweise Angaben gemacht werden, weil das Untersuchungsmaterial der V. und der VI. Ernte verlorengegangen ist.

Im Verlauf der Vegetation steigen die Rohproteingehalte mäßig und die Reinproteingehalte relativ stark an, was wiederum dazu führt, daß die Differenz zwischen beiden Fraktionen geringer wird. Zu der IV. und der V. Ernte ergeben sich zwischen den 6 Standorten nur geringe Unterschiede in beiden Gehalten.

Ab der V. Ernte verhält sich der Standort Rauisch-Holzhausen (Standort 6) völlig abweichend von den übrigen Standorten, indem hier die Gehalte stark abfallen, so daß im Material der VI. Ernte die Roh- und Reinproteinwerte mit Abstand unter dem Niveau der übrigen Standorte liegen.

Tabelle 27 : Proteingehalte in % ATM* (N. 6.25) im Hafer 1972

	Material	Ernte	Standorte					
			1	2	3	4	5	6
Rohprotein	Korn	IV.	14,0	14,0	14,0	14,0	13,0	13,0
		V.	15,5	14,0	-	14,0	15,0	14,0
		VI.	17,0	16,0	-	15,0	15,0	11,6
		IV.	9,0	8,8	8,8	8,8	8,0	9,0
		V.	11,7	12,6	-	11,8	13,0	13,0
		VI.	15,6	15,8	-	15,0	15,0	10,0
Reinprotein								

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

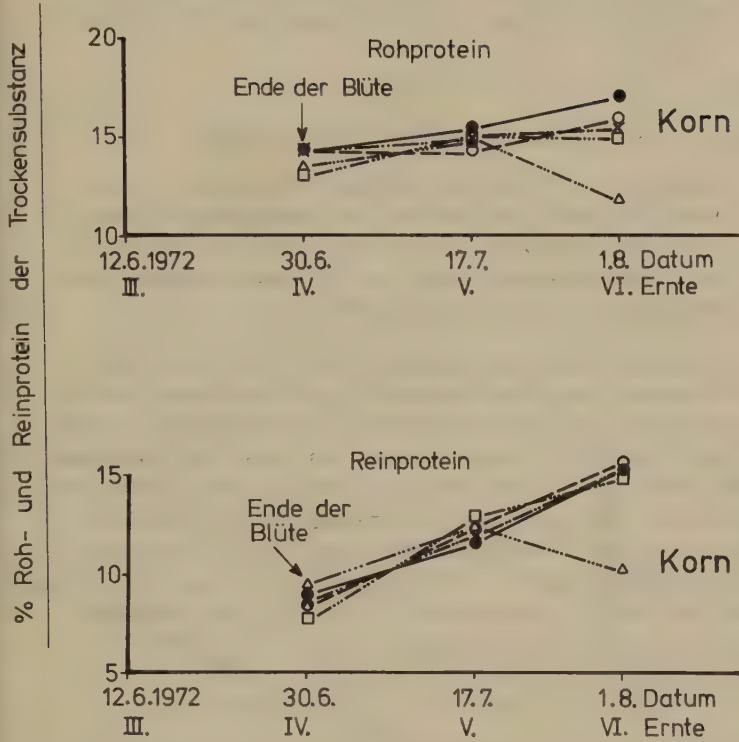


Abb. 27 : Roh- und Reinproteingehalte im Hafer 1972

- | | | | |
|------|----|--|------------------|
| ●— | 1. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten | |
| ○--- | 2. | " " " " " " " " " " " " | ohne Beschattung |
| +--- | 3. | " " " " " " " " " " " " | |
| x--- | 4. | " " " " " " " " " " " " | |
| □--- | 5. | " " " " " " " " " " " " | |
| △--- | 6. | " " " " " " " " " " " " | |
- 800 " " " " " " " " " " " "
- Hattersheim ca. 3 km entfernt, " " " "
- Rauisch-Holzhausen " " " "

3.1.3. Schwefelaufnahme

Die aufgenommene Schwefelmenge wurde durch Multiplikation des Gesamtschwefelgehaltes mit dem Ertrag an ATM (Absolute-Trocken-Masse) errechnet. Dabei wurden im Jahre 1971 der Ertrag von 6 Pflanzen und 1972 der Ertrag von 35 Pflanzen zugrunde gelegt.

Hafer 1971

Die Werte sind in Tab. 28 und in Abb. 28 dargestellt.

Die Schwefelmengen der 3 Varianten sind auch hier nur bis zur V. Zeiternte vergleichbar, weil danach der Ertragsabfall durch Verluste keinen Vergleich mehr ermöglicht. Insgesamt ist festzustellen, daß sich der Kurvenverlauf der Schwefelaufnahme nahezu mit dem Verlauf der Ertragskurven deckt (vgl. Abb. 5).

Die 3 Varianten weisen bis zum Schossen (III. Ernte) relativ geringe Unterschiede auf. Einen weiterhin sehr ähnlichen Kurvenverlauf - allerdings auf etwas unterschiedlichem Niveau - weisen die Standplätze 1 und 3 bis zur V. Ernte auf. Auf dem Standplatz 2 steigt die Schwefelmenge bis zur IV. Ernte relativ stärker an, während bis zur V. Ernte nur noch ein mäßiger Anstieg erfolgt. Die höchsten Werte der 3 Varianten werden bei der V. Ernte erreicht und betragen auf dem 1. Standplatz 5,0, auf dem 2. Standplatz 7,5 und auf dem 3. Standplatz $6,0 \cdot 10^{-2}$ g S/6 Pflanzen.

Tabelle 28 : Schwefelaufnahme bei Hafer 1971

10^{-2} g S/6 Pflanzen

Material	Ernte	1.Standplatz im Schatten	2.Standplatz ohne Beschattung	3.Standplatz im Halbschatten
Gesamtpflanze	I.	0,10	0,10	0,10
	II.	1,00	1,40	1,00
	III.	3,30	4,00	3,40
	IV.	3,40	7,00	4,40
	V.	5,00	7,50	6,00
	VI.	3,00	6,00	4,00
Stroh	VII.	2,30	3,00	3,00
	VIII.	2,00	2,70	2,00

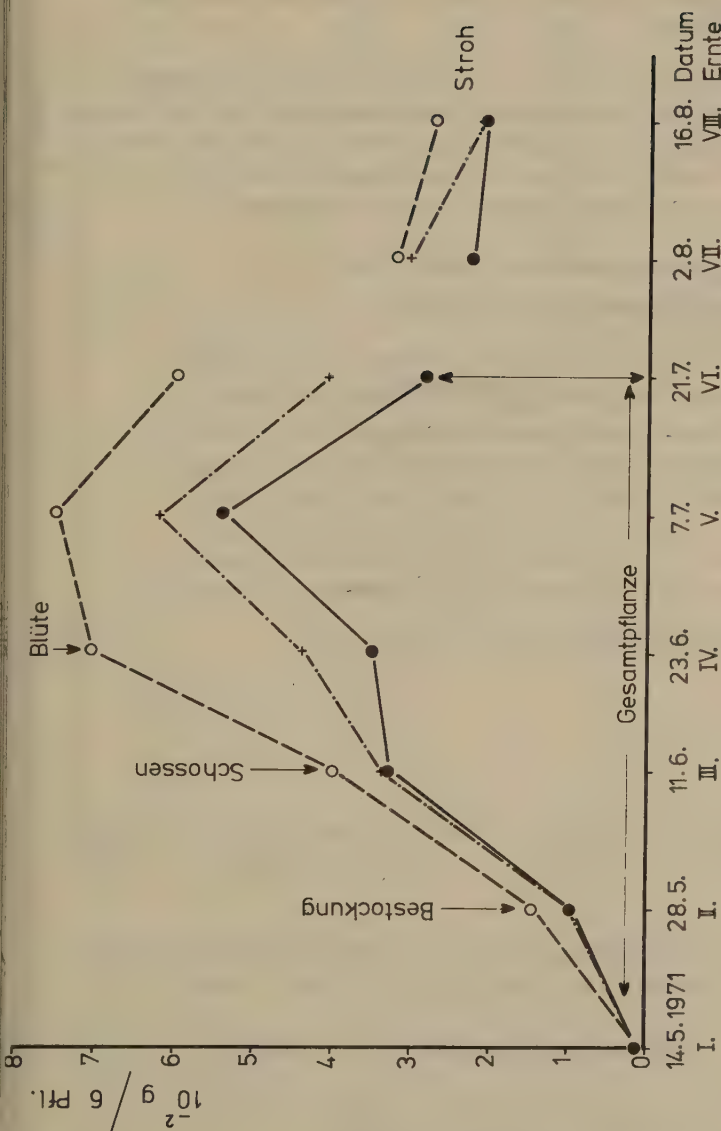


Abb. 28 : Schwefelaufnahme bei Hafer 1971

 $10^{-2} \text{ g S} / 6 \text{ Pflanzen}$

1. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 2. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, ohne Beschattung
 3. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, im Halbschatten

Hafer 1972

Die Werte im Stroh (vegetative Teile) sind in Tab. 29 und in Abb. 29 dargestellt.

Die Kurven verlaufen von der III. bis zur V. Ernte insgesamt stark ansteigend, am stärksten auf dem Standort 6. Zur VI. Ernte fällt auf dem Standort 6 der Wert sehr stark ab, und zwar bis auf das Niveau der III. Ernte. Auf den übrigen Standorten ist nur ein leichtes bis mäßiges Abfallen zu verzeichnen.

Tabelle 29 : Schwefelaufnahme bei Hafer 1972

10^{-2} g S/Gefäß (35 Pflanzen)

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Stroh (vegetative Teile)	III.	9,8	12,0	11,0	15,0	18,0	16,0
	IV.	19,0	27,0	25,0	26,0	26,0	29,0
	V.	26,0	25,8	26,0	29,0	28,0	36,0
	VI.	23,0	23,0	24,0	25,0	27,0	16,0

Die Werte im Blatt sind in Tab. 30 und in Abb. 30 dargestellt.

Der Verlauf der Kurve ist ähnlich wie bei Stroh, indem die Schwefelaufnahme bis zur IV. Ernte auf allen Standorten ansteigt, bis zur V. Ernte etwa gleich bleibt und zur VI. Ernte eine abfallende Tendenz aufweist. Abweichend verhält sich auch hier der Standort 6 mit einem starken Abfall der Schwefelaufnahmekurve von der V. zur VI. Ernte.

Tabelle 30 : Schwefelaufnahme bei Hafer 1972

10^{-2} g S/Gefäß (35 Pflanzen)

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Blatt	III.	8,6	11,0	9,5	13,0	15,0	14,5
	IV.	16,6	21,5	19,6	20,0	19,5	24,6
	V.	18,8	17,6	20,0	21,5	20,0	24,0
	VI.	14,0	14,7	16,0	17,0	18,0	7,0

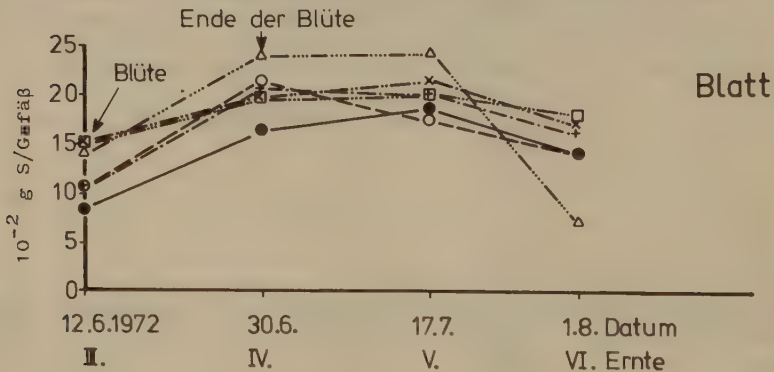


Abb. 30 : Schwefelaufnahme bei Hafer 1972

10^{-2} g S/Gefäß (35 Pflanzen)

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 - 2. " " " " " " " " " " " "
 - + 3. " " " " " " " " " " " "
 - x- 4. " " " " " " " " " " " "
 - 5. " " " " " " " " " " " "
 - △- 6. " " " " " " " " " " " "
- ohne Beschattung
- 800
- Hattersheim ca. 3 km entfernt,
- Rauisch-Holzhausen

Die Werte im Halm sind in Tab. 31 und in Abb. 31 dargestellt.

Von der III. bis zur VI. Ernte ist auf allen Standorten ein mäßiger Anstieg festzustellen. Auf dem Standort 6 steigt die Kurve von der IV. bis zur V. Ernte etwas mehr an, fällt aber zur VI. Ernte in gleichem Maße ab, so daß auch hier ein mäßiger Anstieg zu verzeichnen ist, im Gegensatz zu Stroh und Blatt.

Tabelle 31 : Schwefelaufnahme bei Hafer 1972.

10^{-2} g S/Gefäß (35 Pflanzen)

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Halm	III.	1,8	1,7	1,5	2,5	3,0	2,5
	IV.	5,0	6,0	6,0	6,8	6,7	5,5
	V.	7,0	7,0	6,0	7,0	7,0	12,0
	VI.	8,0	7,5	7,8	7,6	8,0	9,0

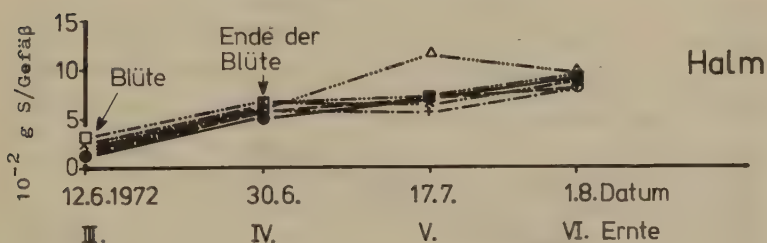


Abb. 31 : Schwefelaufnahme bei Hafer 1972

10^{-2} g S/Gefäß (35 Pflanzen)

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 - 2. " " " " " " " " ohne Beschattung
 - +— 3. " " " " " " " " " " " "
 - x— 4. " " " " " " " " " " " "
 - 5. " " " " " " " " " " " "
 - △— 6. " " " " " " " " " " " "
- 800 Hattersheim ca. 3 km entfernt, Rauisch-Holzhausen

Die rechnerische Zusammenfassung der Schwefelaufnahme durch die Gesamtpflanze ist in Tab. 33 und in Abb. 33 dargestellt. Für die 2 letzten Ernten auf Standort 3 fehlen aus den genannten Gründen die Angaben.

Der Kurvenverlauf der Gesamtschwefelaufnahme entspricht etwa dem der Gesamterträge. Nur ist der Anstieg auf allen Standorten am Anfang etwas stärker.

Bis zur V. Ernte steigt die Schwefelaufnahme auf allen Standorten sehr stark an, wobei auf Standort 6 infolge der höchsten Ertragsleistung auch die große Schwefelaufnahme festzustellen ist. In der Reifeperiode zwischen der V. und VI. Ernte wird offenbar kein Schwefel mehr aufgenommen, so daß kein weiterer Anstieg der Aufnahme-Kurven erfolgt. Eine geringe Ausnahme ergibt sich auf dem Standort 5, auf dem die Schwefelaufnahme bis zur letzten Ernte deutlich ansteigt.

Tabelle 33 : Schwefelaufnahme durch die Gesamtpflanze (Blatt, Halm und Korn) bei Hafer 1972
 10^{-2} g S/Gefäß (35 Pflanzen)

Material	Ernte	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Gesamtpflanze	I.	1,9	2,0	2,0	2,0	2,7	1,6
	II.	7,5	7,0	8,5	9,0	10,8	6,5
	III.	10,0	12,6	11,0	15,8	18,0	16,8
	IV.	25,0	31,0	30,0	31,0	31,0	35,0
	V.	35,0	36,7	-	40,0	41,0	48,0
	VI.	35,0	37,0	-	40,0	45,5	48,5

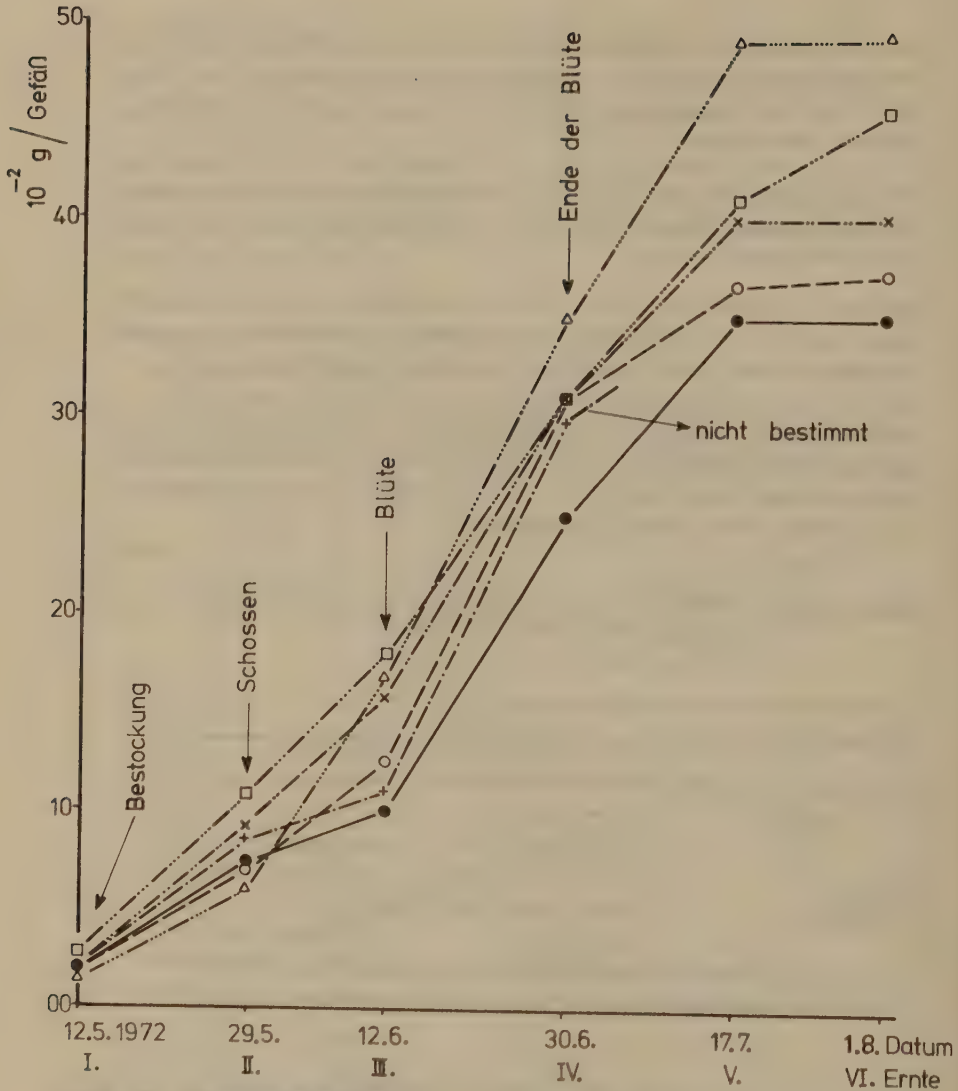


Abb. 33 : Schwefelaufnahme durch die Gesamtanlage (Blatt, Halm und Korn) bei Hafer 1972. $10^{-2} \text{ g S / Gefäß}$ (35 Pflanzen)

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
- 2. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, ohne Beschattung
- 3. Standort, 800 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
- 4. Standort, 800 m entfernt vom Emittenten, ohne Beschattung
- 5. Standort, Hattersheim ca. 3 km entfernt, im Schatten
- 6. Standort, Hattersheim ca. 3 km entfernt, ohne Beschattung

3.1.4. Roh- und Reinproteinerträge

Die Roh- und Reinproteinerträge wurden auch hier durch Multiplikation des Gehaltes mit dem Trockenерtrag je 6 Pflanzen im Jahre 1971 und mit je 35 Pflanzen im Jahre 1972 errechnet.

Hafer 1971

Die Proteinерträge der Gesamtpflanzen sind in Tab. 34 und in Abb. 34 und 35 dargestellt.

Die Erträge an Roh- und Reinprotein sind auch hier aus den genannten Gründen nur bis zur V. Ernte vergleichbar. Ebenso konnte der Reinproteinерtrag auf dem Standplatz 1 zur II. Ernte nicht errechnet werden, da keine Analysen vorlagen. Wie aus den Abbildungen 34 und 35 hervorgeht, entspricht der Verlauf der Roh- und Reinproteinерträge im wesentlichen dem Verlauf der Ertrags-Kurven an ATM (vgl. Abb. 5).

Von der I. bis zur III. Ernte ist der Verlauf auf allen Standplätzen ziemlich stark bis stark ansteigend. Von der III. zur V. Ernte steigen die Erträge auf den Standplätzen 1 und 3 mäßig an, dagegen ist auf Standplatz 2 ein sehr starker Anstieg bis zur IV. Ernte vorhanden und fallen bereits zur V. Ernte wieder mäßig ab. Auf den Standplätzen 1 und 3 erfolgt der Abfall erst ab der V. Ernte.

Tabelle 34 : Proteinerträge bei Hafer 1971, in g/6 Pflanzen

Material	Ernte	1. Standplatz im Schatten	2. Standplatz ohne Beschattung	3. Standplatz im Halbschatten	
Rohprotein	Gesamtpflanze	I.	0,10	0,10	0,10
		II.	0,60	0,90	0,60
		III.	1,80	2,30	2,20
		IV.	2,00	4,00	2,80
		V.	2,90	3,90	3,20
		VI.	1,30	2,30	1,80
Reinprotein		I.	0,08	0,08	0,08
		II.	-	0,70	0,50
		III.	1,50	1,80	1,60
		IV.	1,80	3,80	2,30
		V.	2,60	3,60	2,90
		VI.	0,90	2,00	1,80

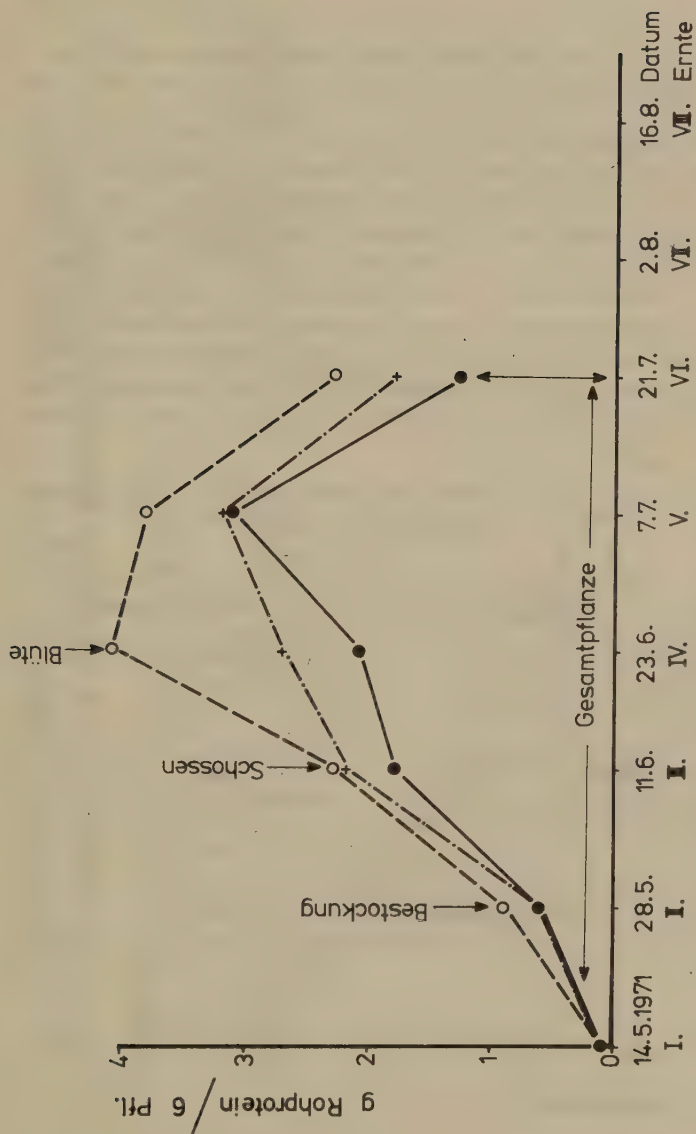


Abb. 34 : Rohprotein - Erträge bei Hafer 1971

1. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
2. " " " " ohne Beschattung
3. " " " " im Halbschatten

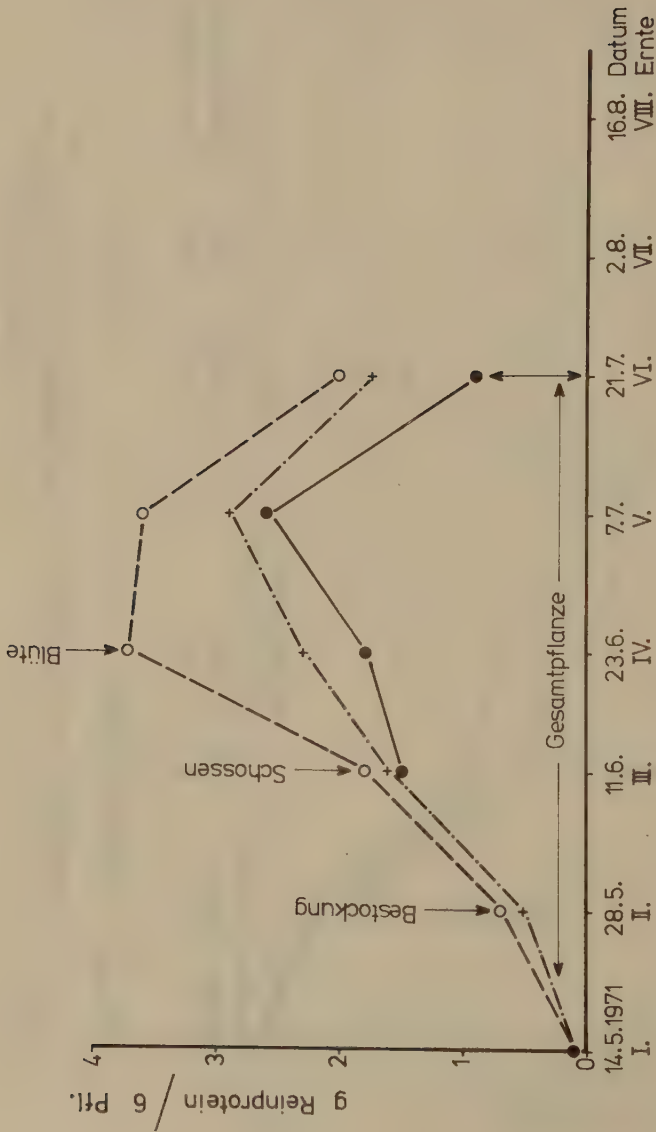


Abb. 35 : Reinprotein-Erträge bei Hafer 1971

- 1. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 -○- 2. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, ohne Beschattung
 -+--- 3. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, im Halbschatten

Hafer 1972

Die Proteinerträge im Blatt sind in Tab. 35 und in Abb. 36 dargestellt.

Der Kurvenverlauf ist bei Rohprotein und bei Reinprotein von der III. bis zur VI. Ernte nicht stark differenziert.

Bis zur IV. Ernte verlaufen die Kurven auf den Standorten 1 - 5 bei Rohprotein etwas ansteigend und bei Reinprotein gleichbleibend. Zur V. Ernte liegen auf den Standorten 1 - 5 die Werte beider Fraktionen etwas niedriger als zu Anfang. Zur VI. Ernte fallen sie noch etwas weiter ab. Eine gewisse Ausnahme macht der Standort 6, indem die Werte bis zur IV. Ernte bei Reinprotein etwas stärker ansteigen. Zur V. Ernte fallen sie ähnlich wie auf den anderen Standorten leicht ab und zur VI. Ernte ist der Abfall stärker, so daß am Ende die Werte etwas niedriger sind als auf den anderen Standorten (s. Tab. 8 und Abb. 7).

Tabelle 35 : Proteinerträge bei Hafer 1972,
in g/Gefäß (35 Pflanzen)

	Material	Ernte	Standorte					
			1	2	3	4	5	6
Rohprotein	Blatt	III.	5,2	5,7	5,3	6,2	7,0	8,2
		IV.	7,0	7,9	7,5	7,9	7,5	10,4
		V.	4,5	4,5	4,0	4,8	4,0	7,6
		VI.	2,6	2,6	2,4	2,6	2,5	1,5
		III.	3,8	4,0	3,8	4,5	5,4	6,4
		IV.	3,9	4,3	4,6	4,8	5,0	9,2
		V.	3,0	2,9	2,8	3,7	2,6	7,0
		VI.	2,0	2,0	1,9	2,2	2,0	1,0
Reinprotein								

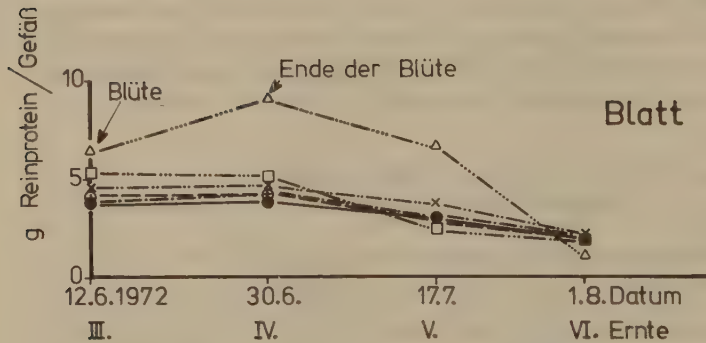
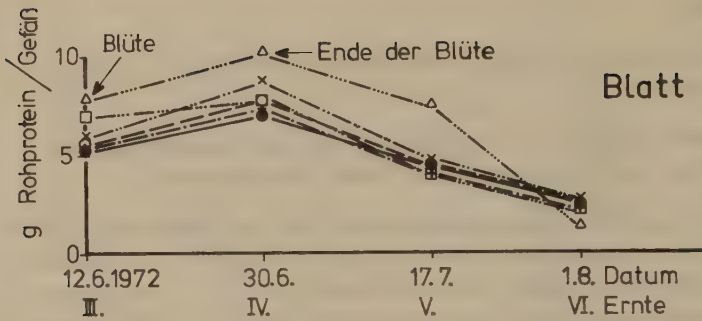


Abb. 36 : Protein-Erträge bei Hafer 1972

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 - 2. " " " " " " " " " " " "
 - +— 3. " " " " " " " " " " " "
 - x— 4. " " " " " " " " " " " "
 - 5. " " " " " " " " " " " "
 - △— 6. " " " " " " " " " " " "
- ohne Beschattung
- Hattersheim ca. 3 km entfernt
- Bauisch-Holzhausen

Die Proteinерträge im Halm sind in Tab. 36 und in Abb. 37 dargestellt.

Die Unterschiede der Rohproteinерträge zur III. Ernte sind relativ gering. Zur IV. Ernte steigen die Erträge auf den ersten 5 Standorten mäßig und auf dem Standort 6 schwach an. Zur V. Ernte sinken die Rohproteinерträge, so daß sie etwas höher liegen als zur III. Ernte. Auf dem Standort 6 steigt dagegen der Ertrag ziemlich stark an; er fällt aber zur VI. Ernte fast ebenso stark ab. Auf den übrigen Standorten ist ein mäßiger bis schwacher Abfall zu verzeichnen, so daß zur VI. Ernte die Rohproteinерträge auf allen Standorten nicht wesentlich von denen zur III. Ernte abweichen.

Der wesentliche Unterschied zwischen den Roh- und Reinproteinерträgen liegt darin, daß erstere am Ende der Blüte (IV. Ernte) deutlich ansteigen, während letztere nur mäßig oder nicht ansteigen.

Tabelle 36 : Proteinерträge bei Hafer 1972,
in g/Gefäß (35 Pflanzen)'

	Material	Ernte	Standorte					
			1	2	3	4	5	6
Rohprotein	Halm	III.	1,2	1,0	0,9	1,5	1,7	1,5
		IV.	2,7	3,0	3,0	3,0	3,0	2,2
		V.	2,0	1,9	1,5	2,0	2,4	3,5
		VI.	1,5	1,3	1,0	1,2	1,3	1,5
Reinprotein		III.	0,8	0,7	0,6	0,8	1,0	1,2
		IV.	0,9	1,2	1,2	1,4	1,7	1,6
		V.	1,0	1,0	0,8	1,2	1,5	2,9
		VI.	0,9	0,8	0,7	0,9	1,0	1,0

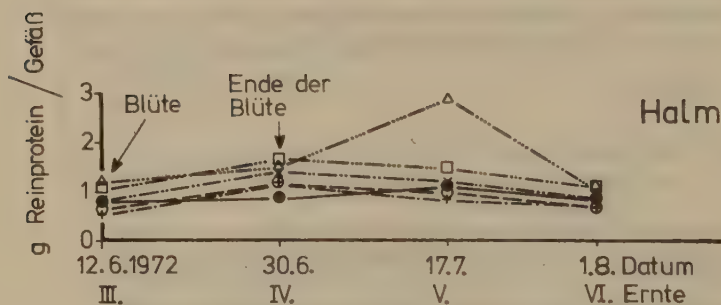
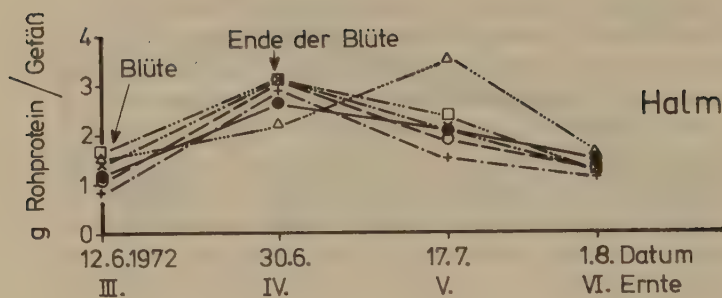


Abb. 37 : Protein-Erträge bei Hafer 1972

- | | |
|----|--|
| 1. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| 2. | " " " " " " ohne Beschattung |
| 3. | " " " " " " " " " " |
| 4. | " " " " " " " " " " |
| 5. | " " " " " " " " " " |
| 6. | " " " " " " " " " " |

Die Proteinerträge bei Korn sind in Tab. 37 und in Abb. 38 dargestellt.

Auf dem Standort 3 kann aus den bereits genannten Gründen zur V. und VI. Ernte nichts ausgesagt werden.

Von der IV. zur V. Ernte ist der Kurvenverlauf auf allen Standorten bei Rohprotein und bei Reinprotein gleichförmig ansteigend. Zur VI. Ernte steigt der Roh- und Reinproteinertrag auf dem Standort 6 wesentlich stärker an als auf den übrigen Standorten. Ein Unterschied zwischen den Roh- und Reinproteinerträgen der Standorte 1, 2, 4 und 5 besteht darin, daß der Reinproteinertrag von der V. zur VI. Ernte weiter linear ansteigt, während der Rohproteinertrag eine Depression im Anstieg erkennen läßt.

Tabelle 37 : Proteinerträge bei Hafer 1972,
in g/Gefäß (35 Pflanzen)

	Material	Ernte	Standorte					
			1	2	3	4	5	6
Reinprotein Rohprotein	Korn	IV.	2,3	2,5	2,6	2,3	2,9	3,0
		V.	7,9	8,0	-	7,7	9,7	8,2
		VI.	10,2	11,7	-	11,3	12,7	17,5
		IV.	1,5	1,5	1,6	1,4	1,7	2,0
		V.	6,0	7,2	-	6,3	8,4	7,6
		VI.	9,3	11,6	-	11,0	12,0	15,3

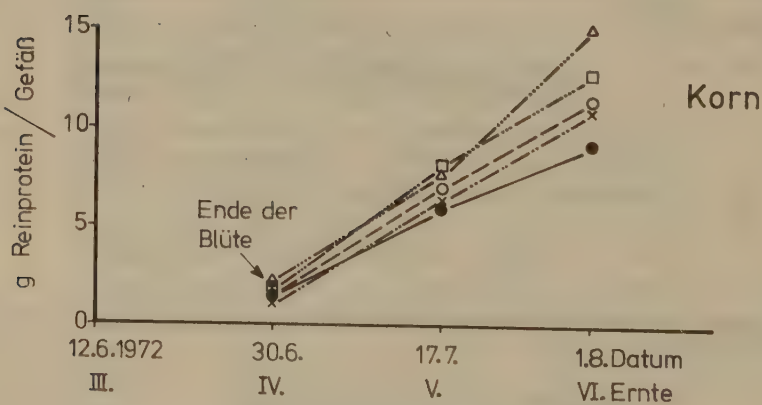
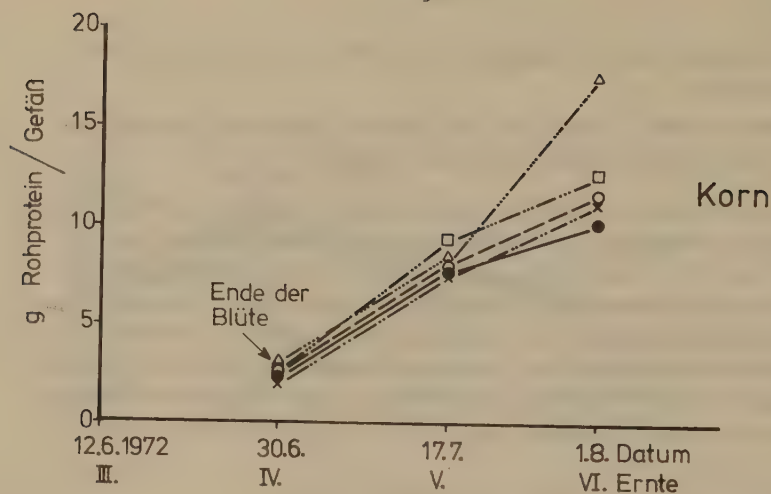


Abb. 38 : Protein - Erträge bei Hafer 1972

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 - 2. " " " " " " " " " " " "
 - +— 3. " " " " " " " " " " " "
 - x— 4. " " " " " " " " " " " "
 - 5. " " " " " " " " " " " "
 - △— 6. " " " " " " " " " " " "
- 800 , Hattersheim ca. 3 km entfernt, Rauisch-Holzhausen

3.2. Buschbohnen 1971

3.2.1. Erträge

Die Erträge sind in Tab. 38 und in Abb. 39 dargestellt.

Der Verlauf der Trockenenertragskurve ähnelt mit dem Verlauf des Hafers im Jahre 1971 in Abhängigkeit von der Beschattung bzw. der vollen Einstrahlung. Die Werte der drei Standplätze zur I. Ernte liegen noch annähernd gleich. Zur II. Ernte bleiben die Erträge auf den Standplätzen 1 und 3 (im Schatten und Halbschatten) gleich mit der I. Ernte, während auf dem Standplatz 2 (ohne Beschattung) ein Anstieg zu verzeichnen ist. Nach der 2. N-Gabe in Höhe von 1,0 g/Gefäß steigen die Erträge bis zur III. Ernte deutlich an. Nach der III. Ernte ergaben sich für den Standplatz 3 (im Halbschatten) offenbar bessere Wachstumsbedingungen als für die beiden anderen Standplätze, so daß zur IV. Ernte dort der höchste Ertrag erzielt wurde.

Die Erträge, die zur IV. Zeiternte erreicht wurden, betrugen auf dem 1. Standplatz 3,90 g, auf dem 2. Standplatz 13,80 g und auf dem 3. Standplatz 15,90 g, jeweils bezogen auf 3 Pflanzen.

Tabelle 38 : Gefäßversuch 1971, Gesamterträge bei
Buschbohnen, Trockenmasse g/3 Pflanzen

Ernte	Datum	Trockengewichte g/3 Pfl.		
		1.Standplatz im Schatten	2.Standplatz ohne Beschattung	3.Standplatz im Halbschatten
I.	11.6.1971	1,00	1,20	1,50
II.	7.7. "	1,00	3,30	1,50
III.	2.8. "	3,60	8,50	6,30
IV.	16.8. "	3,90	13,80	15,90

3.2.2. Schwefelgehalte

3.2.2.1. Org. gebundener Schwefel

Die Gehalte sind in Tab. 39 und in Abb. 40 dargestellt.

Der Verlauf der Gehaltskurven ist auf den Standplätzen 1 und 2 von der I. bis zur III. Ernte ziemlich gleichmäßig aufsteigend und dann bis zur IV. Ernte etwa in gleicher Weise abfallend. Auf Standplatz 3 steigt der Gehalt bis zur II. Ernte stärker an und fällt dann bis zur IV. Ernte gleichmäßig stark ab, so daß hier der Gehalt zuletzt am geringsten ist.

Zur I. Ernte sind die Gehalte auf den Standplätzen 2 und 3 etwa gleich, auf Standplatz 1 liegt der Gehalt deutlich höher. Auf dem Standplatz 3 steigt der Gehalt zur II. Ernte stark an. Die Gehalte auf den Standplätzen 1 und 2 zeigen einen mäßigen Anstieg und behalten diesen auch bis zur III. Ernte bei. Der zur II. Ernte am höchsten liegende Gehalt auf Standplatz 3 fällt zur III. Ernte und weiter auch bis zur IV. Zeiternte stark ab. Die Gehalte auf den Standplätzen 1 und 2 fallen von der III. zur IV. Ernte sehr stark ab und sind am Ende einander gleich.

Tabelle 39 : Gehalt an org. gebundenem Schwefel in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Buschbohnen 1971

Material	Ernte	1.Standplatz im Schatten	2.Standplatz ohne Beschattung	3.Standplatz im Halbschatten
Gesamtpflanze	I.	243,8	216,0	220,0
	II.	291,0	263,8	320,0
	III.	313,8	282,5	210,0
	IV.	188,8	186,0	140,0

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

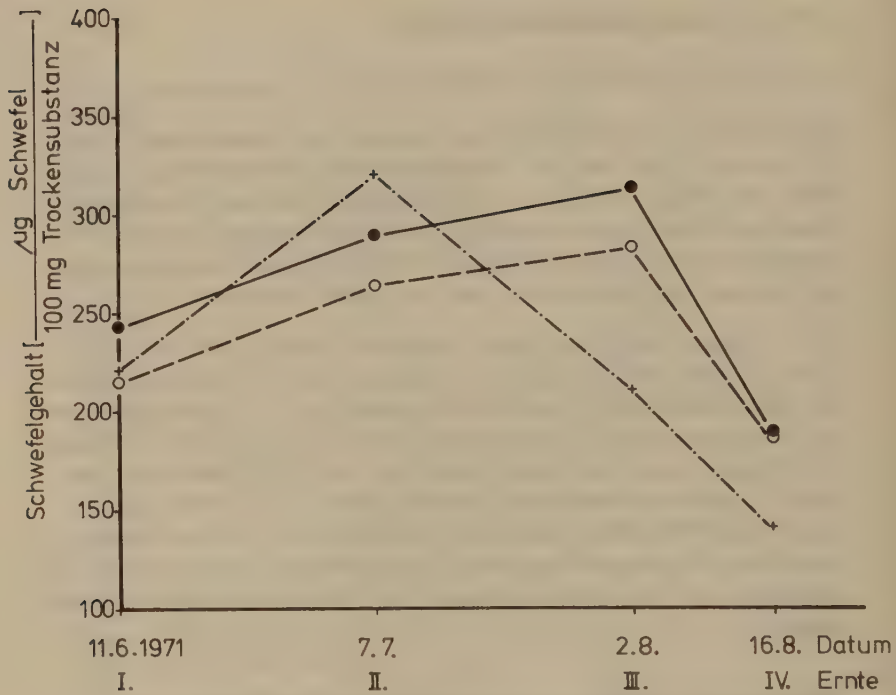


Abb. 40 : Org. gebundener Schwefel in Buschbohnen 1971

- 1. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
- 2. " , " , ohne Beschattung
- +- 3. " , " , im Halbschatten

3.2.2.2. Anorg. gebundener Schwefel

Die Gehalte sind in Tab. 40 und in Abb. 41 dargestellt.

Der Verlauf der Gehaltskurven ist hier sehr verschieden. Allerdings sind die Gehalte zur I. Ernte nicht sehr und zur IV. Ernte gar nicht wesentlich voneinander verschieden.

Von der I. zur II. Ernte verläuft die Gehaltskurve auf dem Standplatz 1 mäßig ansteigend, auf dem Standplatz 3 ziemlich stark ansteigend und auf dem Standplatz 2 mäßig abfallend. Zur III. Zeiternte steigt der Gehalt auf dem Standplatz 3 mäßig an, auf Standplatz 2 bleibt der Gehalt gleich, und auf dem Standplatz 1 fällt er stark ab. Damit ist der Unterschied zwischen Standplatz 1 und 3 sehr groß geworden und die Gehalte auf den Standplätzen 1 und 2 haben sich einander genähert. Zur IV. Ernte liegen alle 3 Gehalte ziemlich gleich, wobei die Gehalte auf Standplatz 3 sehr stark abgefallen, auf Standplatz 1 ziemlich stark angestiegen und auf Standplatz 2 mäßig angestiegen sind.

Tabelle 40 : Gehalt an anorg. gebundenem Schwefel in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Buschbohnen 1971^a

Material	Ernte	1.Standplatz im Schatten	2.Standplatz ohne Beschattung	3.Standplatz im Halbschatten
Gesamt- pflanze	I.	46,0	37,5	41,0
	II.	51,0	32,5	56,0
	III.	30,0	32,5	63,8
	IV	36,0	35,0	37,5

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

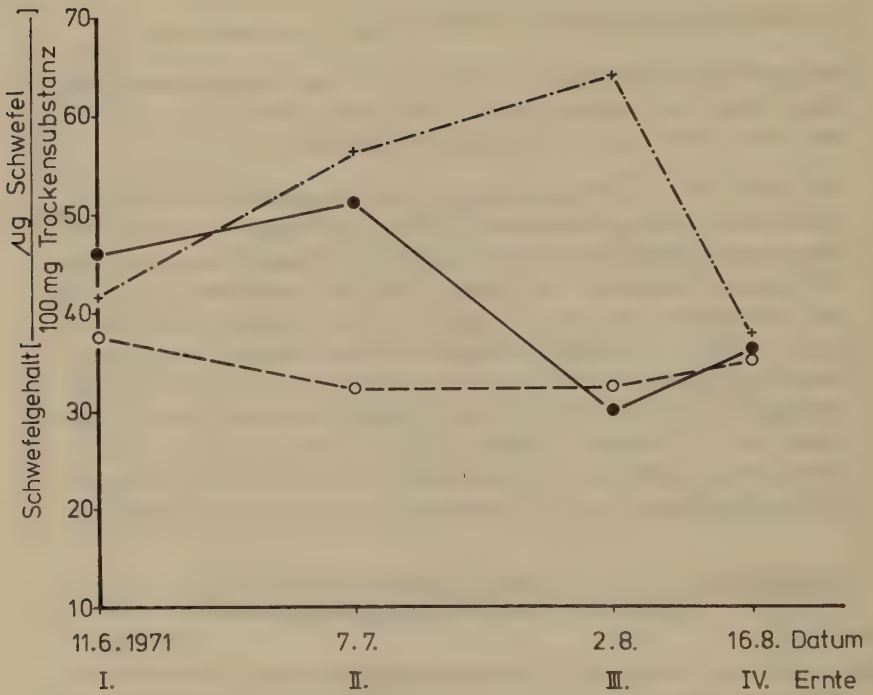


Abb. 41 : Anorg. gebundener Schwefel in Buschbohnen 1971

1. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 2. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, ohne Beschattung
 3. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, im Halbschatten

3.2.2.3. Gesamtschwefel

Die Gehalte sind in Tab. 41 und in Abb. 42 dargestellt.

Infolge des hohen Anteiles an org. gebundenem Schwefel gegenüber der Fraktion des anorg. gebundenen Schwefels verläuft die Gehaltskurve des Gesamtschwefels nahezu identisch mit der Gehaltskurve der erstgenannten Fraktion.

Allerdings liegen die Gehalte um den Anteil des anorganischen Schwefels höher.

Tabelle 41 : Gesamtschwefelgehalte in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$
bei Buschbohnen 1971

Material	Ernte	1.Standplatz im Schatten	2.Standplatz in der Sonne	3.Standplatz im Halbschatten
Gesamt- pflanze	I.	290,0	253,8	261,0
	II.	342,5	296,0	376,0
	III.	343,8	315,0	273,8
	IV.	225,0	221,0	177,5

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

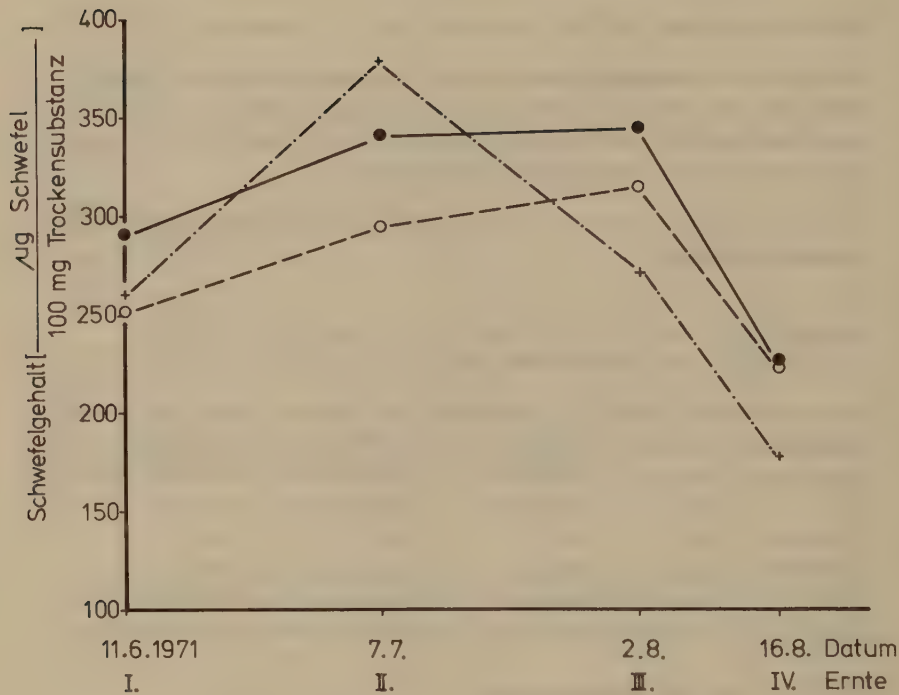


Abb. 42 : Gesamtschwefelgehalte in Buschbohnen 1971

- 1. Standplatz, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
-○----- 2. " , " " " " , ohne Beschattung
-+----- 3. " , " " " " , im Halbschatten

3.2.3. Schwefelaufnahme

Die Werte sind in Tab. 42 und in Abb. 43 dargestellt.

Die aus Ertrag und Gehalt errechneten Werte der Buschbohnen ergeben folgendes:

Zur I. Ernte sind die Unterschiede in der Schwefelaufnahme zwischen den 3 Varianten gering. Im Verlauf der Vegetation bleibt auf dem Standplatz 1 die Schwefelaufnahme am niedrigsten, während bei den anderen Standplätzen die Kurven bis zur IV. Ernte relativ ähnlich verlaufen und stark ansteigen. Auf Standplatz 1 ist ein vergleichbarer Anstieg auf niedrigerem Niveau nur bis zur III. Ernte vorhanden, während zur IV. Ernte ein starker Abfall zu verzeichnen ist. Damit ist der Unterschied in der Schwefelaufnahme zwischen dem 1. und den beiden anderen Standplätzen zur IV. Ernte sehr groß.

Tabelle 42 : Schwefelaufnahme bei Buschbohnen 1971
 10^{-2} g S/3 Pflanzen

Material	Ernte	1.Standplatz im Schatten	2. Standplatz ohne Beschattung	3.Standplatz im Halbschatten
Gesamt- pflanze	I.	0,30	0,30	0,40
	II.	0,30	1,00	0,60
	III.	1,30	2,60	1,60
	IV	0,90	3,00	2,80

3.3. Weidelgras 1972

3.3.1. Erträge

Die Erträge sind in Tab. 43 und in Abb. 44 dargestellt.

Im Verlauf der Vegetation wurden insgesamt 4 Schnitte genommen. Die niedrigen Erträge auf den Standorten 2 und 3 bei dem I. Schnitt sind auf Verluste durch Wildverbiss (Kaninchen) zurückzuführen. Bei allen Schnitten sind die Unterschiede der Trockenenerträge zwischen den Standorten 1 - 5 relativ gering. Nur Standort 6 zeigt vom I. bis zum letzten Schnitt deutlich höhere Werte. Das höchste Ertragsniveau zwischen 42,0 - 70,0 g Trockenmasse/Gefäß wurde bei dem III. Schnitt erreicht. Bei dem letzten Schnitt sind die Ertragsunterschiede zwar nicht sehr groß, jedoch ergibt sich nach der Ertragshöhe folgende deutliche Abstufung der Standorte: $1 < 2 < 3 < 4 < 5 < 6$.

Tabelle 43 : Gefäßversuch 1972, Erträge bei Weidelgras
(*Lolium multiflorum* ssp. *gaudini*),
Trockenmasse g/Gefäß

Schnitt	Datum	Trockengewichte g/Gefäß					
		Standorte					
		1	2	3	4	5	6
I.	27.6.1972	19,0	15,8*	16,5*	23,0	19,8	34,6
II.	2.8. "	40,0	46,7	45,0	45,8	46,5	61,0
III.	23.8. "	42,6	42,0	43,0	48,8	49,0	70,0
IV.	28.9. "	31,0	34,0	37,7	41,0	45,8	48,8
Summe		132,6	138,5	142,2	158,6	161,1	214,4

* = Verluste an Trockenmasse

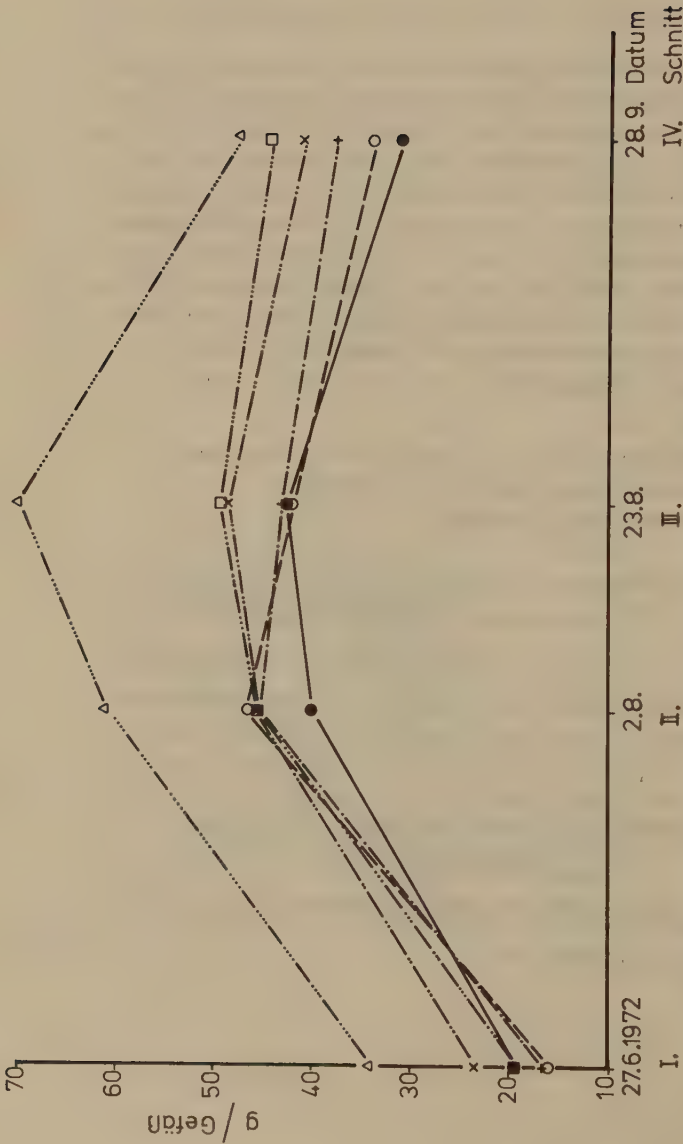


Abb. 44 : Gefäßversuch 1972. Erträge bei Weidelgras (*Lolium multiflorum* ssp. *gaudini*), Trockenmasse g / Gefäß nach 4 Schnitten

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
- 2. " " " " " " " " " " " "
- +— 3. " " " " " " " " " " " "
- x— 4. " " " " " " " " " " " "
- 5. " " " " " " " " " " " "
- △— 6. " " " " " " " " " " " "

3.3.2. Schwefel- und Proteingehalte

3.3.2.1. Org. gebundener Schwefel

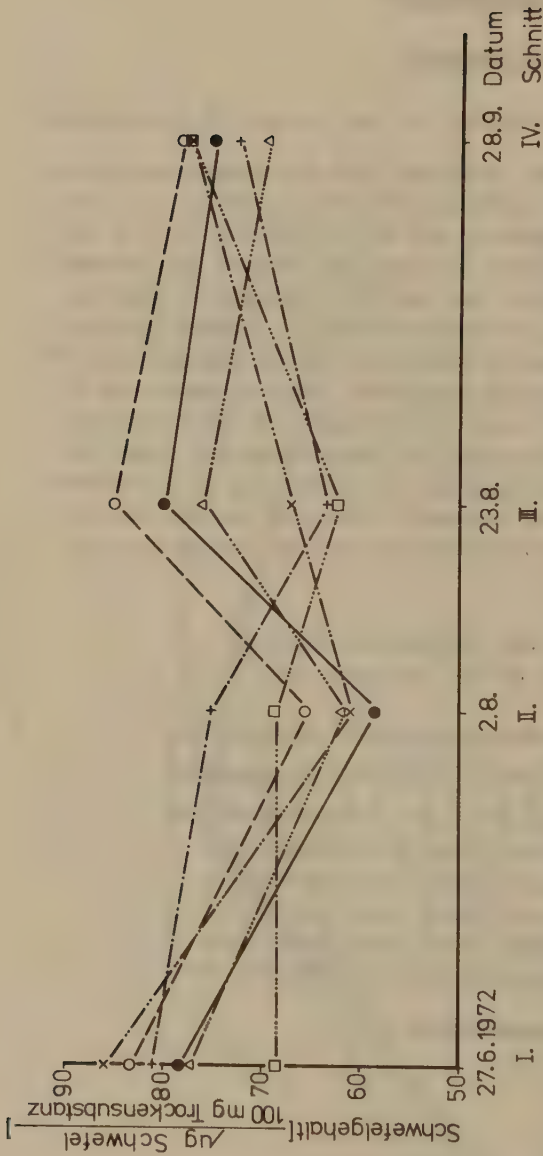
Die Gehalte im Gras sind in Tab. 44 und in Abb. 45 dargestellt.

Im Verlauf der Vegetation verhalten sich die Gehaltskurven innerhalb der 6 Standorte deutlich verschieden. Vom I. bis zum II. Schnitt fallen die Gehalte auf den Standorten 1, 2, 4 und 6 stark und auf dem Standort 3 leicht ab, während auf Standort 5 der Gehalt gleich bleibt. Bei dem III. Schnitt ist der Verlauf der Gehaltskurven auf den Standorten 1, 2 und 6 ziemlich stark und auf dem Standort 4 mäßig ansteigend, dagegen ist auf den Standorten 3 und 5 mäßig abfallend. Damit ergeben sich 2 Gruppen von Standorten, wobei in der einen auf den Standorten 1, 2 und 6 die Gehalte bei dem IV. Schnitt ziemlich stark abfallen; in der anderen Gruppe auf den Standorten 3, 4 steigen die Gehalte mäßig und auf Standort 5 deutlich an, so daß die Unterschiede in diesem Zeitabschnitt geringer werden als bei dem I. Schnitt.

Tabelle 44 : Gehalt an org. gebundenem Schwefel
in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Gras 1972

Schnitt	Standorte					
	1	2	3	4	5	6
I.	78,8	83,8	81,0	86,0	68,5	77,5
II.	58,8	65,8	75,0	61,0	68,8	61,0
III.	80,0	85,0	63,5	67,0	62,0	76,0
IV.	75,0	78,8	72,5	77,5	78,8	64,5

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

Abb. 45 : Org. gebundener Schwefel in *Lolium multiflorum* 1972

- ——— 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 ○ ——— 2. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, ohne Beschattung
 + ——— 3. Standort, 800 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 x ——— 4. Hattersheim ca. 3 km entfernt, im Schatten
 □ ——— 5. Hattersheim ca. 3 km entfernt, ohne Beschattung
 △ ——— 6. Rauisch-Holzhausen, im Schatten

3.3.2.2. Anorg. gebundener Schwefel

Die Gehalte im Gras sind in Tab. 45 und in Abb. 46 dargestellt.

Bei dem I. Schnitt bestehen zwischen den 6 Standorten deutliche Unterschiede in den Schwefelgehalten. Auf den Standorten 1, 2, 3, 5 und 6 steigen die Gehalte bei dem II. Schnitt leicht bis mäßig an, während auf dem Standort 4 der Gehalt leicht abfällt. Der Gehalt steigt auf dem Standort 1 bei dem III. Schnitt mäßig an. Bei den anderen Standorten verlaufen die Kurven relativ gleichförmig und fallen mäßig ab. Bei dem IV. Schnitt fällt der Gehalt auf dem Standort 1 schwach ab, während auf den übrigen Standorten ein mäßiger Anstieg zu verzeichnen ist. Damit nähern sich die Gehalte auf allen Standorten im Gegensatz bei dem I. Schnitt einander an.

Tabelle 45 : Gehalt an anorg. gebundenem Schwefel
in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$ bei Gras 1972

Schnitt	Standorte					
	1	2	3	4	5	6
I.	238,8	242,5	257,5	283,8	238,8	216,0
II.	283,8	258,8	278,8	265,0	281,0	241,0
III.	308,8	247,5	265,0	242,5	260,0	230,0
IV.	282,5	271,0	282,5	286,0	286,0	263,8

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

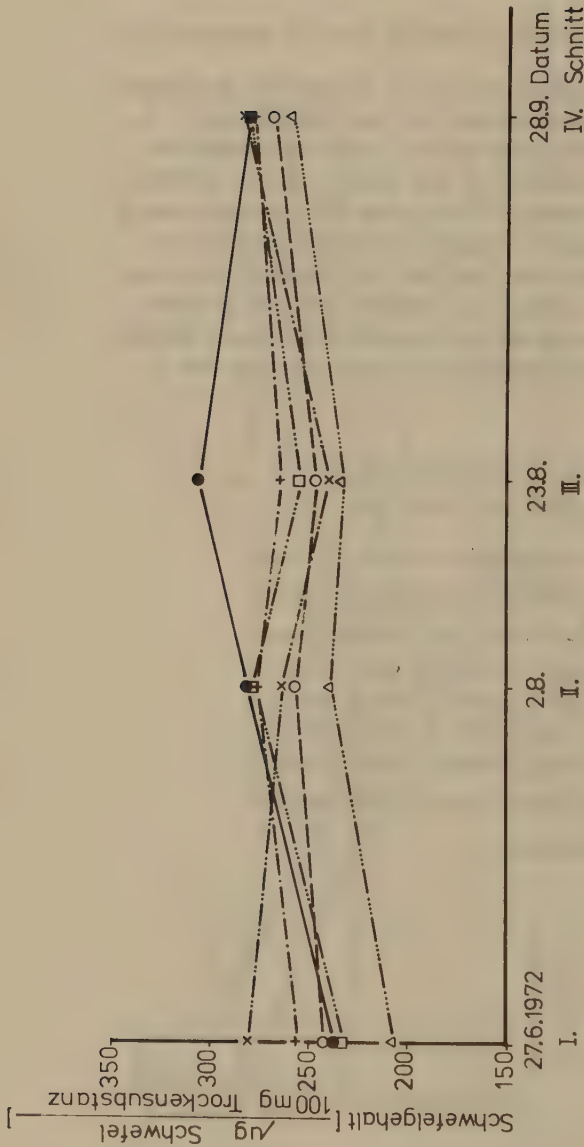


Abb. 46 : Anorg. gebundener Schwefel in *Lolium multiflorum* 1972

- 1. Standort, 400 m entfernt von Emittenten, im Schatten
- 2. " " " " " " " " " " " "
- 3. " " " " " " " " " " " "
- 4. " " " " " " " " " " " "
- 5. " " " " " " " " " " " "
- 6. " " " " " " " " " " " "

3.3.2.3. Gesamtschwefel

Die Gehalte im Gras sind in Tab. 46 und in Abb. 47 dargestellt.

Insgesamt ist aus der Abbildung 47 zu entnehmen, daß der Verlauf der Gehaltskurven mit dem des anorganisch gebundenen Schwefels nahezu identisch ist. Damit trifft die dort beschriebene Gegenüberstellung der Standorte auch hier für die Gesamtschwefelgehalte im wesentlichen zu. Diese Erscheinung ist ein Beweis dafür, daß sich der Anteil des organisch gebundenen Schwefels von Anfang bis zum Ende der Vegetation auf den einzelnen Standorten stets so ändert, daß sich zwischen Gesamtschwefel und anorganisch gebundenem Schwefel immer eine etwa gleiche Differenz ergibt.

Tabelle 46 : Gesamtschwefelgehalte in $\mu\text{g}/100 \text{ mg ATM}^*$
bei Gras 1972

Schnitt	Standorte					
	1	2	3	4	5	6
I.	317,5	326,0	338,8	370,0	307,0	293,8
II.	342,5	324,5	353,8	326,0	350,0	302,5
III.	388,8	332,5	328,5	309,0	322,0	306,0
IV.	362,5	350,0	355,0	363,8	365,0	328,0

* ATM = Absolute-Trocken-Masse

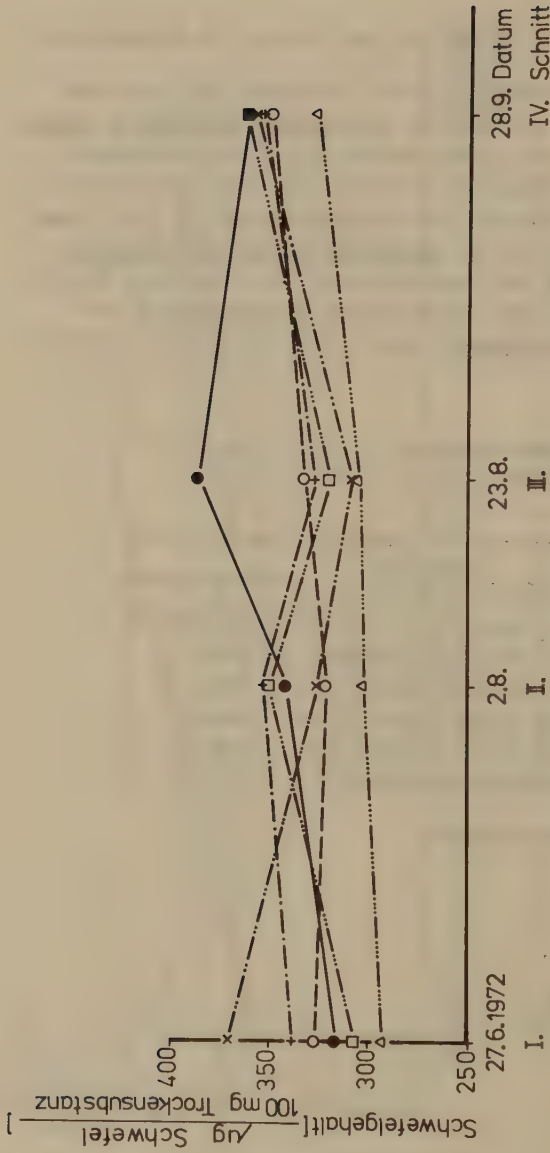


Abb. 47 : Gesamtschwefelgehalte in *Lolium multiflorum* 1972

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
- - - - - 2. " " " " " " " " " " " "
- + - - - - 3. " " " " " " " " " " " "
- x - - - - 4. " " " " " " " " " " " "
- □ - - - - 5. " " " " " " " " " " " "
- Δ - - - - 6. " " " " " " " " " " " "

3.3.2.4. Roh- und Reinprotein

Die Proteingehalte im Gras sind in Tab. 47 und in Abb. 48 dargestellt.

Der Verlauf der Gehaltskurven während der ganzen Vegetationszeit ist bei Roh- wie bei Reinprotein im wesentlichen gleich. Der allgemeine Kurvenverlauf weist einen Abfall im II. Schnitt und einen deutlichen Anstieg im III. Schnitt auf. Bei dem IV. Schnitt ergibt sich in der Tendenz ein leichter Abfall, so daß die Gehalte im wesentlichen auf dem Niveau des I. Schnittes liegen.

Bei dem I. Schnitt sind die Gehaltsunterschiede gering mit Ausnahme der Standorte 4 und 5, deren Gehalte deutlich über bzw. unter den übrigen Werten liegen. Bei dem II. Schnitt werden die Gehaltsunterschiede noch weit geringer, in dem der höchste Gehalt auf Standort 4 das niedrigste Niveau erreicht und auf den anderen Standorten durch schwächeren Abfall die Gehalte nur wenig von diesem Niveau abweichen. Die Gehalte steigen bei dem III. Schnitt auf den Standorten 1 - 5 gleichförmig mäßig und auf Standort 6 stark an. Bei dem IV. Schnitt ist ein schwacher und auf Standort 6 ein ziemlich starker Abfall zu verzeichnen, so daß die Gehalte auf allen 6 Standorten annähernd gleich liegen.

Tabelle 47 : Proteingehalte in % ATM[■] (N. 6.25)
bei Gras 1972

	Schnitt	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Rohprotein	I.	11,0	11,7	12,6	13,8	8,0	11,7
	II.	9,0	8,0	9,0	8,0	8,5	8,5
	III.	12,8	12,0	12,8	12,5	10,8	16,0
	IV.	11,0	11,6	11,8	10,8	10,0	11,0
Reinprotein	I.	10,0	10,0	11,0	12,9	7,5	10,8
	II.	8,8	7,0	8,0	7,0	7,8	7,6
	III.	11,9	11,5	11,5	10,5	9,9	15,0
	IV.	10,0	10,9	9,5	9,0	9,5	10,0

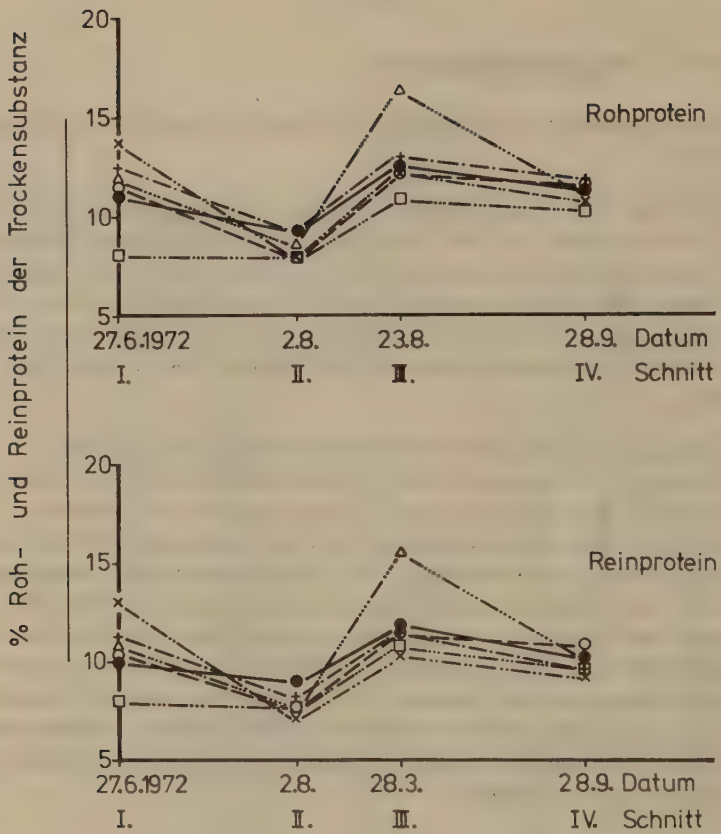


Abb. 48 : Roh- und Reinproteingehalte in
Lolium multiflorum 1972

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
- 2. " " " " " " " " ohne Beschattung
- +— 3. " " " " " " " " " " " "
- x— 4. " " " " " " " " " " " "
- 5. " " " " " " " " " " " "
- △— 6. " " " " " " " " " " " "

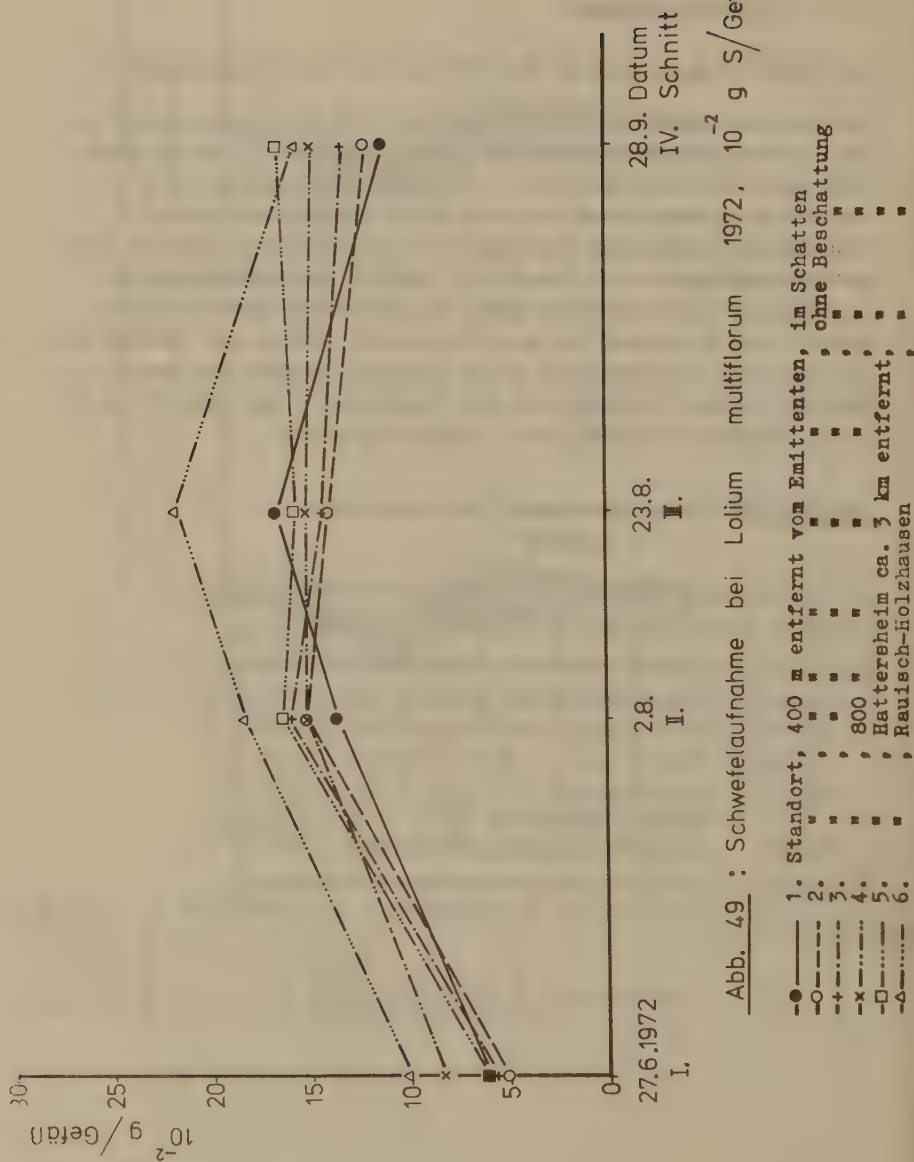
3.3.3. Schwefelaufnahme

Die Werte im Gras sind in Tab. 48 und in Abb. 49 dargestellt.

Wie aus Abbildung 49 ersichtlich ist, sind die Unterschiede in der Schwefelaufnahme innerhalb der Standorte 1 - 5 nicht groß. Eine Ausnahme macht Standort 6, auf dem die Werte bis zum III. Schnitt erwartungsgemäß deutlich höher liegen. Bei dem IV. Schnitt fällt der Wert aber auf das gleiche Niveau wie bei den anderen Standorten ab. Vom I. bis zum II. Schnitt steigen die Werte auf allen Standorten mäßig an. Die Werte auf den Standorten 1 und 6 steigen bei dem III. Schnitt weiter an, während sie auf den übrigen Standorten etwas geringer werden. Bei dem IV. Schnitt fallen die Werte auf den Standorten 1 und 6; auf den übrigen Standorten fallen oder steigen sie wenig.

Tabelle 48 : Schwefelaufnahme bei Gras 1972,
10⁻² g S/Gefäß

Schnitt	Standorte					
	1	2	3	4	5	6
I.	6,0	5,0	5,6	8,0	6,0	10,0
II.	13,7	15,0	16,0	15,0	16,0	18,0
III.	16,6	14,0	14,0	15,0	15,8	21,4
IV	11,0	12,0	13,5	14,9	16,7	15,7
Summe	47,3	46,0	49,1	52,9	54,5	65,1



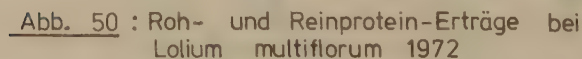
3.3.4. Roh- und Reinproteinerträge

Die Proteinерträge im Gras sind in Tab. 49 und in Abb. 50 dargestellt.

Im Verlauf der Vegetation ergeben sich bei Roh- wie bei Reinprotein gleichlaufende Kurven. Bis zum II. Schnitt steigen die Kurven auf den Standorten 1, 2, 3 und 5 in gleicher Weise mäßig an, während auf den Standorten 4 und 6 eine leichte Veränderung stattfindet. Bei dem III. Schnitt steigen die Erträge auf den Standorten 4 und 6 ziemlich stark bis stark an, auf den übrigen Standorten ist der Anstieg mäßig. Die Erträge bei dem IV. Schnitt fallen auf Standort 6 stark, auf den Standorten 1 und 4 mäßig und auf den Standorten 2 und 5 schwach ab.

Tabelle 49 : Proteinерträge bei Gras 1972, in g/Gefäß

	Schnitt	Standorte					
		1	2	3	4	5	6
Rohprotein	I.	2,0	1,9	2,0	3,0	1,6	4,0
	II.	3,7	3,7	4,0	3,7	3,9	5,0
	III.	5,5	5,0	5,6	6,0	5,0	11,5
	IV.	3,5	4,0	4,5	4,5	4,7	5,5
Reinprotein	I.	1,9	1,5	1,5	2,8	1,0	3,5
	II.	3,0	3,0	3,5	3,0	3,0	4,6
	III.	5,0	4,5	5,0	5,5	4,5	10,5
	IV.	3,0	3,5	3,6	3,8	4,0	4,8



- | | |
|----|--|
| 1. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| 2. | " " " " " " " " ohne Beschattung |
| 3. | " " " " " " " " " " " " |
| 4. | " " " " " " " " " " " " |
| 5. | " " " " " " " " " " " " |
| 6. | " " " " " " " " " " " " |

4. Diskussion

Ziel der in den Jahren 1971 und 1972 durchgeführten Versuche sollte es sein, den Einfluß der SO_2 -Immission auf Wachstum und Inhaltsstoffe verschiedener Kulturpflanzen im unmittelbaren Bereich einer Emissionsquelle und auf einem entfernten Standort als Kontrollstandort in Rauisch-Holzhausen zu untersuchen. Als weitere Variante in der Versuchsanstellung wurden die nahe der Emissionsquelle befindlichen Gefäße teils im Schatten und teils unter freiem Himmel aufgestellt.

In beiden Jahren waren die erzielten Trockenerträge bei allen Versuchspflanzen relativ hoch. In Abhängigkeit von der Beschattung bzw. vollen Einstrahlung der Standplätze und Standorte waren die Erträge unterschiedlich, indem die im Schatten wachsenden Pflanzen erwartungsgemäß stets niedrigere Erträge ergaben. Diese Tatsache bestätigt, daß bei geringerer Lichtintensität ein Abfall der Assimulationsleistung der Pflanzen erfolgt (KLAPP 1967, BRETSCHNEIDER 1967).

Der Gesamtverlauf der Wachstums- bzw. Zeitertragskurven war in beiden Jahren normal ansteigend - mit Ausnahme von Hafer und Buschbohnen im Jahre 1971 (vgl. Abb. 6 und 7). Dieser ungewöhnliche Ertragsabfall ab der V. Ernte kann bei Hafer auf Kornverluste durch Vogelfraß und auf Blattverluste zurückgeführt werden (Abb. 5). Bei Buschbohnen war das Wachstum wegen einer zu geringen Startstickstoff-Gabe zu Anfang stark gehemmt und entwickelte sich erst nach einer N-Nachdüngung normal (Abb. 39).

Zur Feststellung des Gesamtschwefelgehaltes in den Versuchspflanzen wurden die analytisch gefundenen Werte der beiden S-Fraktionen addiert (s. Tab. 19, 20, 21, 22, 23, 41 und 46). Zum besseren Verständnis der in obigen Tabellen angegebenen Analysenwerte (μg Schwefel/ 100 mg ATM) wurden diese auf die Konventionaldimension Prozent in "Absoluter Trocken-Masse" % ATM umgerechnet. Die Werte entsprechen damit im Verlauf der Vegetation den ursprünglich in den obigen Tabellen angegebenen Meßwerten. In den folgenden Tabellen sind die Gesamtschwefelgehalte in % ATM für die Versuchspflanzen in beiden Jahren wiedergegeben:

Tabelle 50 : Gesamtschwefelgehalte in % bei Hafer 1971

Material	Ernte	1.Standplatz im Schatten	2.Standplatz ohne Beschattung	3.Standplatz im Halbschatten
Gesamt- pflanze	I.	0,45	0,45	0,45
	II.	0,58	0,58	0,53
	III.	0,42	0,39	0,37
	IV.	0,30	0,30	0,27
	V.	0,23	0,25	0,20
	VI.	0,25	0,26	0,24
Stroh	VII.	0,29	0,28	0,28
	VIII.	0,30	0,30	0,27
Korn	VII.	0,22	0,17	0,21
	VIII.	0,20	0,19	0,19

Tabelle 51 : Gesamtschwefelgehalte in % bei Hafer 1972

Mate- rial	Ernte	1.St.Ort im Schatten	2.St.Ort 400 m entfernt	3.St.Ort 400 m entfernt	4.St.Ort 800 m entfernt	5.St.Ort 3 km entfernt	6.St.Ort in R.-H. *
Gesamt- pflanze	I.	0,60	0,60	0,56	0,60	0,58	0,57
	II.	0,43	0,40	0,46	0,53	0,48	0,44
Stroh	III.	0,34	0,37	0,40	0,46	0,37	0,36
	IV.	0,32	0,37	0,34	0,32	0,27	0,34
	V.	0,35	0,34	0,35	0,34	0,35	0,30
	VI.	0,35	0,36	0,35	0,38	0,32	0,18
Blatt	III.	0,40	0,45	0,43	0,52	0,47	0,46
	IV.	0,47	0,54	0,49	0,49	0,42	0,44
	V.	0,50	0,44	0,51	0,45	0,45	0,39
	VI.	0,44	0,42	0,48	0,46	0,42	0,18
Halm	III.	0,26	0,29	0,32	0,31	0,28	0,25
	IV.	0,19	0,21	0,20	0,22	0,17	0,18
	V.	0,20	0,20	0,18	0,19	0,16	0,16
	VI.	0,25	0,22	0,23	0,22	0,19	0,14
Korn	IV.	0,22	0,21	0,23	0,24	0,22	0,24
	V.	0,19	0,21	-	0,21	0,22	0,22
	VI.	0,21	0,21	-	0,21	0,20	0,18

* R.-H. = Rausch-Holzhausen

Tabelle 52 : Gesamtschwefelgehalte in % bei Buschbohnen 1971

Material	Ernte	1.Standplatz im Schatten	2.Standplatz ohne Beschattung	3.Standplatz im Halbschatten
Gesamtpflanze	I.	0,29	0,25	0,26
	II.	0,34	0,30	0,38
	III.	0,34	0,31	0,27
	IV.	0,23	0,22	0,18

Tabelle 53 : Gesamtschwefelgehalte in % bei Weidelgras 1972

Schnitt	1.St.Ort im Schatten	2.St.Ort 400 m entfernt	3.St.Ort 400 m entfernt	4.St.Ort 800 m entfernt	5.St.Ort 3 km entfernt	6.St.Ort in R.-H. *
I.	0,32	0,33	0,34	0,37	0,31	0,29
II.	0,34	0,32	0,35	0,33	0,35	0,30
III.	0,39	0,33	0,33	0,31	0,32	0,37
IV.	0,36	0,35	0,36	0,36	0,37	0,32

* R.-H. = Rauisch-Holzhausen

Dabei ist zu erfahren, daß der prozentuelle Gesamtschwefelgehalt bei Hafer in beiden Versuchsjahren den Wert von 0,6 % nicht überschreitet. Dies steht in Übereinstimmung mit der Arbeit von van HAUT (1972), in der er als natürliche Schwefelwerte für Getreide einen Gehalt unterhalb von 0,6 % angab. Als kritischen Wert für latenten Schwefelmangel fand SAALBACH (1970, 1972) im Haferstroh einen Gehalt von 0,10 %.

Über die Reaktion der Kulturpflanzen gegenüber der SO_2 -Konzentration in der Luft sind in der Literatur zahlreiche Ergebnisse veröffentlicht worden. Wie bereits einleitend in dieser Arbeit erwähnt wurde, geben ZAHN (1961) und GUDERIAN, van HAUT (1972) eine SO_2 -Grenzkonzentration in der Luft für Hafer von 0,2 - 0,3 ppm und für Buschbohnen von 0,2 - 0,4 ppm an. Bei Hattersheim (Standort 5) wurde in der Zeit von September 1971 bis Dezember 1972 die SO_2 -Konzentration in der Luft gemessen [■] (s. Tab. 54

* Diese Zahlen verdanke ich Herrn Prof.Dr.H.W. Georgii, Direktor des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/M., und Herrn Dipl.-Met. R. Kaller

und Abb. 51). Aus diesen Zahlen ist im Vergleich mit der Aussage der genannten Autoren ersichtlich, daß bei dieser niedrigen SO_2 -Konzentration keine Schädigung für die Versuchspflanzen zu erwarten war. Gerade auf diesem Standort wurden nach Rauisch-Holzhausen die höchsten Erträge erzielt (vgl. Abb. 6, 7 und 44). Damit konnten keine sichtbaren Schädigungen in Form von Blattnekrosen festgestellt werden. Für die anderen Standorte (1, 2, 3 und 4) können grundsätzlich dieselben Feststellungen getroffen werden, da die Gehaltswerte in Tabelle 51 im gleichen Niveau liegen. Nur auf dem Standort Rauisch-Holzhausen (Nr. 6) liegen verbunden mit den Höchsterträgen - bei den letzten Ernten geringere Werte vor. In Anbetracht der Anfangswerte und des Verlaufs der Kurve in Abbildung 19 kann dieser Befund ausschließlich auf den Verdünnungseffekt durch Massenzuwachs zurückgeführt werden.

Tabelle 54 : Monatsmittelwerte der SO_2 -Konzentration der Luft in ppm bei Hattersheim von September 1971 bis Dezember 1972

1971	ppm	1972	ppm	1972	ppm	1972	ppm
Sept.	0,015	Jan.	0,028	Mai	0,009	Sept.	0,010
Okt.	0,019	Febr.	-	Juni	0,008	Okt.	0,021
Nov.	0,008	März	0,015	Juli	0,009	Nov.	0,014
Dez.	0,012	April	0,009	Aug.	0,009	Dez.	0,028

Ganz entsprechend den Befunden bei Hafer 1971 ist der Gehalt bei Buschbohnen (s. Tab. 52) auf dem Standplatz "im Schatten" etwas höher, was auf geringeren Ertrag zurückzuführen ist.

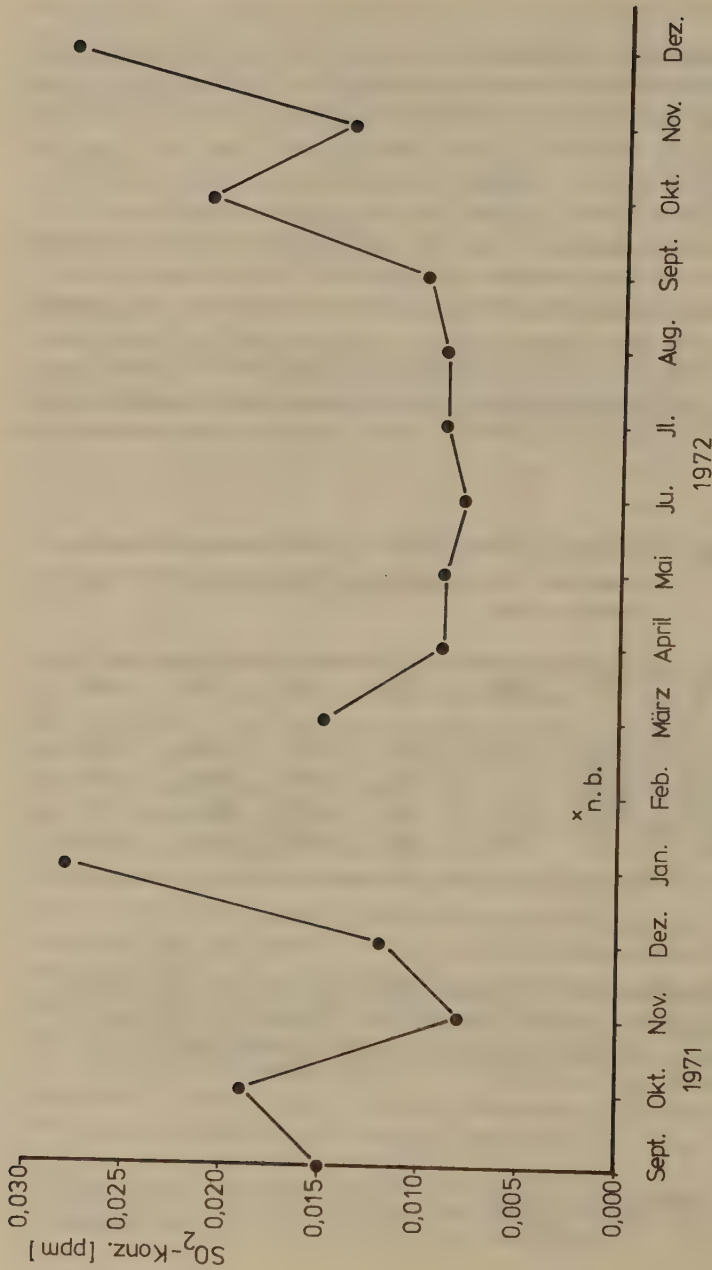


Abb. 51 : Monatsmittelwerte der SO₂-Konzentration der Luft in ppm bei Hattersheim von Sept. 1971 bis Dez. 1972
 x n.b. = nicht bestimmt

Auch bei Weidelgras sind die Gehalte beim Standort im Schatten (1), verbunden mit geringerem Ertrag, etwas höher. Zwischen den Standorten 2 - 5 ergeben sich keine Unterschiede. Beim Bezugsstandort Rauisch-Holzhausen (6) ist wiederum ein etwas geringerer Gehalt angedeutet, verbunden mit einem höheren Ertrag (s. Tab. 53). Die Gesamterträge sind auch auf den Standorten 4 und 5 (800 m und 3 km entfernt) etwas höher (s. auch Abb. 44), was aber vornehmlich durch die beiden letzten Schnitte verursacht ist. Da die Schwefelgehalte keine Änderung erfuhren, kann dies auf das Mikroklima bei den Standorten zurückgeführt werden, während in Rauisch-Holzhausen die bessere Wasserversorgung die Ursache war. Es werden weder die kritischen Werte für die Schadschwelle nach ZAHN (1961) und GUDERIAN, van HAUT (1972) noch Schwefelmangel nach SAALBACH (1970, 1972) gefunden.

Wie aufgrund dieses Befundes zu erwarten war, entspricht bei allen Versuchspflanzen der Verlauf der Schwefelaufnahmekurven in beiden Jahren weitgehend dem Verlauf der Zeitertragskurven. Innerhalb der 3 Varianten bei Hafer im Jahre 1971 wies die Variante 2 (ohne Beschattung) aufgrund des höchsten Ertrages die höchste Schwefelaufnahme auf, die Variante 1 (im Schatten) hatte die niedrigste Aufnahme und die Variante 3 (im Halbschatten) nahm eine Mittelstellung ein (vgl. Abb. 5 mit Abb. 28).

Ähnliche Ergebnisse wurden bei Hafer im Jahre 1972 gefunden, indem deutliche Unterschiede zwischen dem Kontrollstandort (6) und den übrigen Standorten vorhanden waren (vgl. Abb. 6 und 7 mit Abb. 30, 31, 32 und 33).

Aufgrund der höchsten Ertragsbildung wies Standort 6 sowohl in der Gesamtheit der vegetativen Teile als auch bei den einzelnen Bestandteilen der Pflanze bis zur V. Ernte höhere Schwefelmengen auf. Der deutliche Abfall von V. zur VI. Ernte (s. Abb. 29) kann damit erklärt werden, daß auf diesem Standort infolge der stärkeren Kornbildung eine erhöhte Umlagerung aus dem vegetativen Teil der Pflanze in den generativen Teil erfolgte (s. Tab. 8 und Abb. 7).

Ähnliche Erscheinungen fand man auch bei Buschbohnen und Weidelgras. Die Schwefelmenge innerhalb der 3 Varianten stand bei Buschbohnen in direkter Abhängigkeit von der Beschattung bzw. der vollen Einstrahlung der Pflanze (s. Abb. 43). Es war festgestellt worden (Tab. 24, 25, 26, 27 und 47), daß weder die Gehalte an Roh- und Reinprotein noch der Schwefelgehalt des Proteins signifikant beeinflußt worden war. Eine Ausnahme ergab sich wieder bei Hafer in Rauisch-Holzhausen, wo bei höherem Ertrag die Gehaltszahlen etwas niedriger ausfielen. Aufgrund dieses Befundes werden auch die Roh- und Reinproteinerträge ausschließlich von der Trockenmassenbildung bzw. Trockenmassenerträge bestimmt.

Dagegen ergibt sich bei Weidelgras eine deutliche Beziehung zwischen Schwefelgehalt und der Entfernung der Standorte vom Emittenten.

Zur Feststellung des SO₂-Einflusses auf die Inhaltsstoffe wurden die Versuchspflanzen nach ihrem Gehalt an verschiedenen S-Fractionen sowie auf Roh- und Reinprotein analysiert. Im allgemeinen läßt sich aus den Analyseergebnissen entnehmen, daß, abgesehen von einigen schwach bis mäßig verlaufenden Schwankungen innerhalb der Standplätze und Standorte, die Gehaltsunterschiede bei allen Versuchspflanzen nur weniger unterschiedlich waren, wie man nach der Wahl der Standplätze bzw. Standorte hätte vermuten können.

Der Verlauf der Gehaltskurven an organisch gebundenem Schwefel zeigte bei Hafer (s. Abb. 8, 9, 10, und 11) mit fortschreitender Entwicklung in beiden Jahren einen Abfall. Dieser Abfall ist damit zu begründen, daß die Haferpflanze in der Phase der Produktbildung (LINSER 1967) in erster Linie Kohlenhydrate einlagert, wodurch eine Verdünnung des S-Gehaltes entsteht. Die absolute Menge an organisch gebundenem Schwefel pro Pflanze nimmt jedoch zu, da durch den Anteil der S-haltigen Aminosäuren im Protein des Kornes mit fortschreitender Proteineinlagerung auch der Anteil an organisch gebundenem Schwefel zunimmt (s. Abb. 12).

In der Literatur wurde bewiesen, daß zwischen Stickstoff- und Schwefelstoffwechsel der Pflanze eine enge Beziehung existiert und der Schwefelbedarf sich in vielen Fällen nach der Stickstoffversorgung der Pflanze richtet. So konnten STEWART und PORTER (1969) bei Versuchen mit Mais feststellen, daß die Pflanze bei geringer Stickstoffversorgung 0,10 % und bei höheren Gaben ein Gehalt von 0,15 % organisch gebundenem Schwefel aufweist. Um in diesem Zusammenhang einen Überblick über das Schwefel-/Stickstoffverhältnis zu gewinnen, wurde entsprechend den Arbeiten von DIJKSHOORN, LAMPE u. van BURG (1960) und MARQUARD (1967) das N:S-Verhältnis im Rohprotein errechnet. In folgenden Tabellen ist der organisch gebundene Schwefel in Beziehung zum Rohproteingehalt gesetzt und wird in % des Rohproteins bei Hafer in beiden Versuchsjahren angegeben:

Tabelle 55 : Schwefelgehalt des Rohproteins in % bei Hafer 1971

Material	Ernte	1.Standplatz im Schatten	2.Standplatz ohne Beschattung	3.Standplatz im Halbschatten
Gesamtpflanze	I.	0,35	0,35	0,35
	II.	0,39	0,31	0,42
	III.	0,34	0,36	0,32
	IV.	0,33	0,47	0,41
	V.	0,50	0,71	0,60
	VI.	0,54	0,80	0,70

Aus der Tabelle 55 geht hervor, daß der S-Gehalt des Rohproteins mit fortschreitender Entwicklung der Pflanze vor allem in der Periode der Kornbildung zunimmt.

Dabei ist interessant, daß sich Unterschiede zwischen beschatteten und unbeschatteten Gefäßen ergeben und daß die halbbeschatteten Gefäße eine Mittelstellung einnehmen. Eine Interpretation der Erscheinung, daß in der beschatteten Variante die Schwefelgehalte des Rohproteins weniger zunehmen als in den unbeschatteten Varianten, könnte in der Weise erfolgen, daß

durch die verminderte Lichtintensität die Reduktion des Sulfates in der Pflanze relativ gehemmt wird, da weniger Energie in Form von NADPH und ATP zur Verfügung steht.

Tabelle 56 : Schwefelgehalt des Rohproteins in % bei Hafer 1972

Mate- rial	Ernte	1.St.Ort im Schatten	2.St.Ort 400 m entfernt	3.St.Ort 400 m entfernt	4.St.Ort 800 m entfernt	5.St.Ort 3 km entfernt	6.St.Ort in R.-H.*
Blatt	III.	0,55	0,50	0,54	0,55	0,69	0,57
	IV.	0,55	0,65	0,53	0,65	0,70	0,72
	V.	0,66	0,72	1,00	0,80	0,88	0,83
	VI.	1,25	1,14	1,43	1,43	1,33	1,50
Halm	III.	0,61	0,40	0,50	0,50	0,56	0,68
	IV.	0,80	0,54	0,50	0,80	0,62	0,71
	V.	1,00	1,20	1,00	1,20	1,00	1,00
	VI.	1,20	1,20	1,50	1,60	1,60	1,50
Korn	IV.	0,64	0,64	0,64	0,71	0,69	0,92
	V.	0,75	1,00	-	1,00	1,00	1,00
	VI.	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,30

* R.-H. = Rauisch-Holzhausen

In den Versuchen des Jahres 1972 (Tab. 56) mit einer beschatteten Variante auf Standort 1 wurde dieser Effekt jedoch nicht bestätigt.

In den übrigen Standorten sind die Unterschiede im Schwefelgehalt des Rohproteins zwischen den einzelnen Standorten zwar vorhanden, jedoch ergeben sich keine Beziehungen zur Entfernung der Standorte von der Emissionsquelle. Lediglich bei den Versuchen mit *Lolium multiflorum* (Tab. 52) wurde festgestellt, daß ein gewisser Gehaltsunterschied zwischen Kontrollstandort (6) und den übrigen Standorten vorhanden ist, da auf Standort 6 die Gehalte stets niedriger liegen als auf den übrigen Standorten. Hier ist auch die höhere Ertragsbildung verbunden mit geringeren Schwefelgehalten der Trockensubstanz (s. Tab. 43 und Abb. 44).

**Tabelle 57 : Schwefelgehalt des Rohproteins in % bei
Lolium multiflorum 1972**

Schnitt	1.St.Ort im Schatten	2.St.Ort 400 m entfernt	3.St.Ort 400 m entfernt	4.St.Ort 800 m entfernt	5.St.Ort 3 km entfernt	6.St.Ort in R.-H.*
I.	0,72	0,66	0,61	0,64	0,88	0,66
II.	0,66	0,87	0,88	0,75	0,77	0,66
III.	0,61	0,75	0,53	0,53	0,54	0,50
IV.	0,72	0,66	0,58	0,72	0,80	0,54

* R.-H. = Rauisch-Holzhausen

Um eine Vorstellung über die Verteilung und Bindung des Schwefels in der Pflanze zu erhalten, wurden in den Tabellen 58, 59 und Abbildungen 52, 53 und 54 zunächst die organisch gebundenen Schwefelmengen errechnet bzw. dargestellt.

**Tabelle 58 : Org. gebundene Schwefelmengen in 10^{-2} g/6 Pflanzen
bei Hafer 1971**

Material	Ernte	1.Standplatz im Schatten	2.Standplatz ohne Beschattung	3.Standplatz im Halbschatten
Gesamt- pflanze	I.	0,03	0,03	0,03
	II.	0,25	0,30	0,25
	III.	0,60	0,80	0,60
	IV.	0,70	2,00	1,10
	V.	1,60	2,70	1,80
	VI.	0,70	1,90	1,10
Stroh	VII.	0,30	0,40	0,40
	VIII.	0,25	0,35	0,25

Tabelle 59 : Org. gebundene Schwefelmengen in
 10^{-2} g/35 Pflanzen bei Hafer 1972

Material	Ernte	1.St.Ort im Schatten	2.St.Ort 400 m entfernt	3.St.Ort 400 m entfernt	4.St.Ort 800 m entfernt	5.St.Ort 3 km entfernt	6.St.Ort in R.-H *
Gesamtpflanze	I.	0,50	0,60	0,50	0,50	0,55	0,35
	II.	1,60	1,60	1,25	1,50	1,90	1,40
Stroh	III.	2,10	2,10	1,75	2,90	3,80	2,70
	IV.	3,10	4,10	3,40	4,10	4,20	6,70
	V.	3,10	3,35	3,40	4,60	5,90	10,00
	VI.	4,00	3,50	4,10	4,30	5,30	3,80
Blatt	III.	2,40	2,90	2,90	2,80	2,95	4,50
	IV.	3,70	5,00	4,10	5,30	4,80	7,10
	V.	3,20	3,00	3,80	4,00	3,55	6,40
	VI.	3,30	2,70	3,10	3,70	3,40	2,10
Halm	III.	0,70	0,50	0,50	0,75	1,00	0,95
	IV.	2,10	1,60	1,50	2,40	2,10	1,60
	V.	2,20	2,10	1,70	2,30	2,25	4,00
	VI.	1,90	1,80	1,95	1,80	2,10	1,70
Korn	IV.	1,45	1,60	1,75	1,60	2,10	2,60
	V.	6,25	8,10	-	7,30	9,30	8,60
	VI.	10,20	12,00	-	12,10	14,80	23,65

* R.-H. = Rauisch-Holzhausen

Die Kurvenverläufe bei "Blatt" und in geringerem Ausmaß bei "Halm" zeigen deutlich einen Anstieg und einen Abfall nach der IV. bzw. V. Ernte. Dafür nimmt die Einlagerung des organisch gebundenen Schwefels im Korn vor der IV. Ernte (1972) fortlaufend zu (s. Abb. 54). Die Gesamtwerte für organisch gebundenen Schwefel folgen in abgeschwächter Form wiederum dem Ertragsverlauf (s. Tab. 60 und Abb. 55).

Tabelle 60 : Org. gebundene Gesamtschwefelmengen
in 10^{-2} g/35 Pflanzen bei Hafer 1972

Mate- rial	Ernte	1.St.Ort im Schatten	2.St.Ort 400 m entfernt	3.St.Ort 400 m entfernt	4.St.Ort 800 m entfernt	5.St.Ort 3 km entfernt	6.St.Ort in R.-H*
Gesamt- pflanze	I.	0,50	0,60	0,50	0,50	0,55	0,35
	II.	1,60	1,60	1,25	1,50	1,90	1,40
	III.	3,10	3,40	3,40	3,55	3,95	5,45
	IV.	7,20	8,20	7,35	9,30	9,00	11,30
	V.	11,65	13,20	-	13,60	15,10	19,00
	VI.	15,40	16,50	-	17,60	20,30	27,45

* R.-H. = Rauisch-Holzhausen

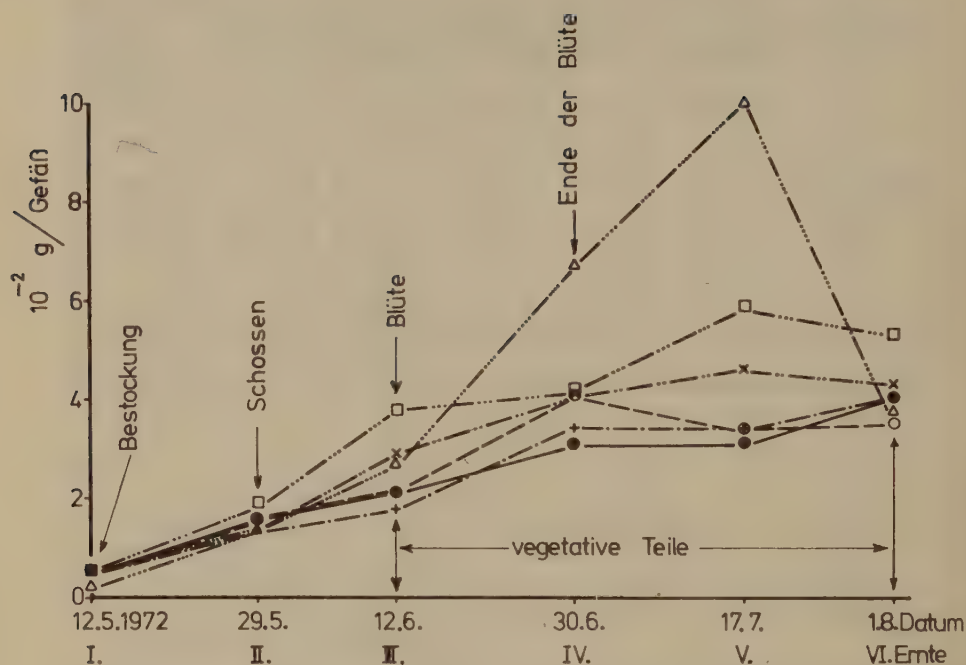


Abb. 52 : Org. gebundene Schwefelmengen bei Hafer (vegetative Teile) 1972
 $10^{-2} \text{ g S / Gefäß}$ (35 Pflanzen)

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
- 2. " " " " " " " " " " " "
- - - 3. " " " " " " " " " " " "
- x- 4. " " " " " " " " " " " "
- 5. " " " " " " " " " " " "
- △- 6. " " " " " " " " " " " "

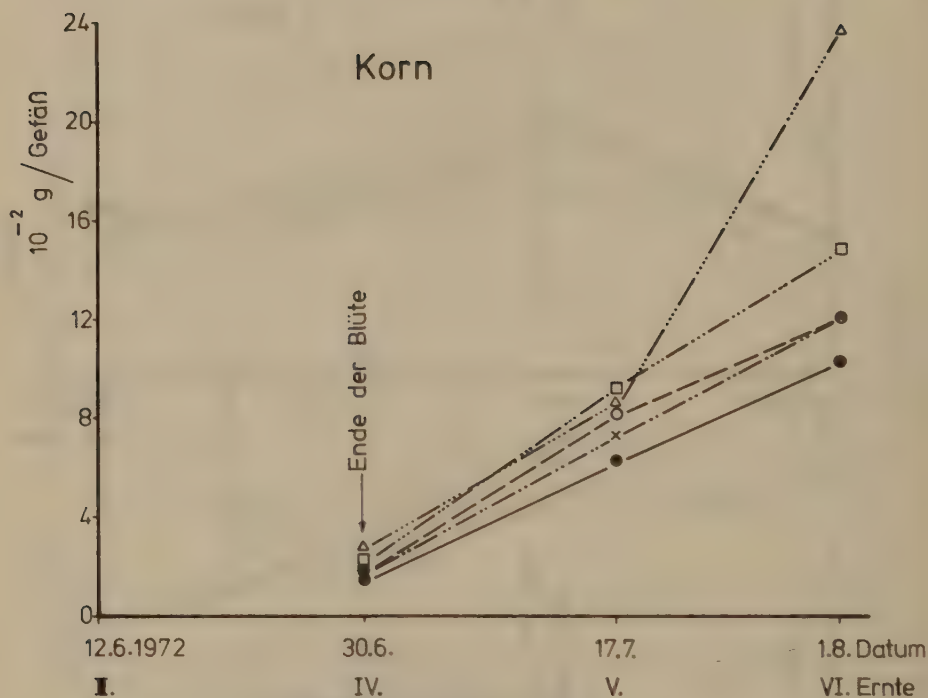


Abb. 54 : Org. gebundene Schwefelmengen bei Hafer 1972

10^{-2} g S / Gefäß (35 Pflanzen)

- | | | |
|-----|----|--|
| —●— | 1. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| —○— | 2. | „ „ „ „ „ „ ohne Beschattung |
| —+— | 3. | „ „ „ „ „ „ |
| —x— | 4. | „ „ „ „ „ „ |
| —□— | 5. | „ „ „ „ „ „ Hattersheim ca. 3 km entfernt, |
| —△— | 6. | „ „ „ „ „ „ Rauisch-Holzhausen |

Zur Ergänzung werden nunmehr in den Tabellen 61, 62 und Abbildungen 56, 57 die anorganisch gebundenen Schwefelmengen (als Sulfat bestimmt) mitgeteilt.

Tabelle 61 : Anorg. gebundene Schwefelmengen
in 10^{-2} g/6 Pflanzen bei Hafer 1971

Material	Ernte	1. Standplatz im Schatten	2. Standplatz ohne Beschattung	3. Standplatz im Halbschatten
Gesamtpflanze	I.	0,06	0,06	0,06
	II.	0,80	1,20	0,70
	III.	2,65	3,10	2,75
	IV.	2,60	5,10	3,30
	V.	3,80	4,90	3,80
	VI.	2,10	4,10	2,90
Stroh	VII.	1,90	2,70	2,70
	VIII.	1,75	2,35	1,90

Tabelle 62 : Anorg. gebundene Schwefelmengen
in 10^{-2} g/35 Pflanzen bei Hafer 1972

Material	Ernte	1. St. Ort im Schatten	2. St. Ort 400 m entfernt	3. St. Ort 400 m entfernt	4. St. Ort 800 m entfernt	5. St. Ort 3 km entfernt	6. St. Ort in R.-H *
Gesamtpflanze	I.	1,30	1,50	1,45	1,60	2,10	1,20
	II.	5,90	5,60	7,20	7,70	8,90	5,70
Stroh	III.	7,85	8,90	9,10	12,50	12,25	11,40
	IV.	16,10	21,40	19,90	18,90	18,60	22,40
	V.	22,75	22,40	22,40	24,80	25,90	26,30
	VI.	19,10	21,10	19,40	22,30	22,50	14,00
Blatt	III.	6,30	8,00	7,50	10,80	10,00	9,80
	IV.	12,80	16,60	15,60	15,00	14,60	17,60
	V.	15,60	14,70	16,60	17,50	16,50	18,30
	VI.	11,10	11,85	12,75	13,40	14,80	6,80
Halm	III.	1,10	1,30	1,10	1,70	2,00	1,30
	IV.	3,00	4,50	4,40	4,40	4,60	3,60
	V.	5,10	5,20	4,10	4,70	5,10	8,00
	VI.	6,40	5,60	5,90	6,00	6,20	7,20
Korn	IV.	2,10	2,20	2,60	2,20	2,70	2,60
	V.	3,60	3,70	-	3,80	4,50	4,30
	VI.	2,40	3,30	-	3,30	4,10	3,90

* R.-H. = Rauisch-Holzhausen

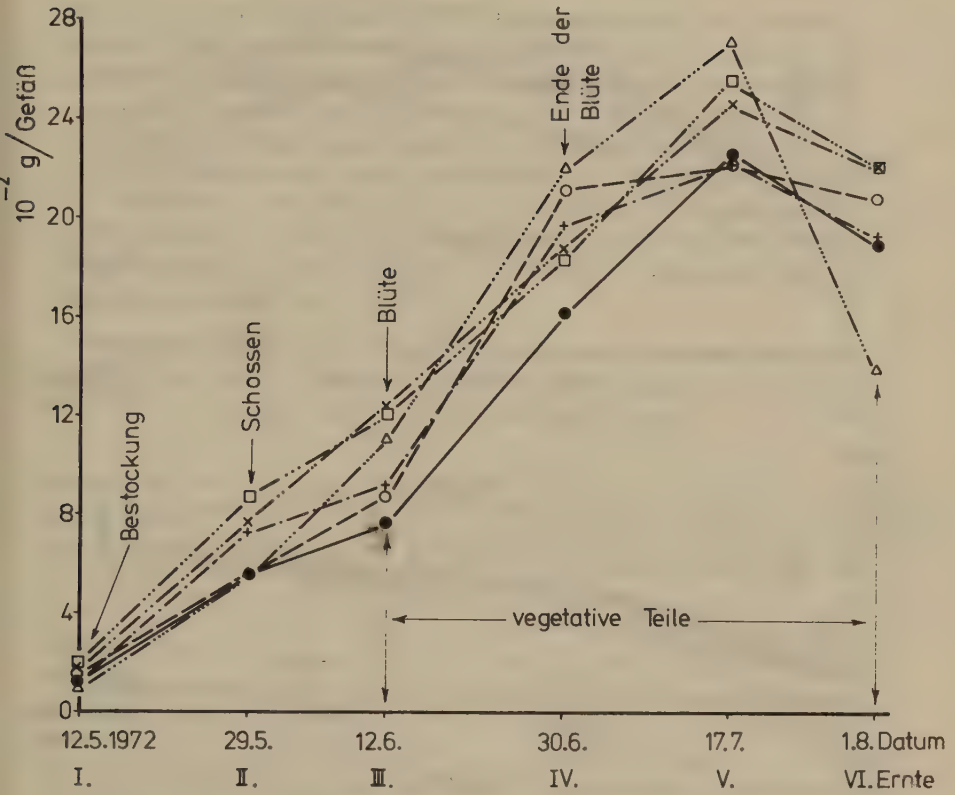


Abb. 56 : Anorg. gebundene Schwefelmengen bei Hafer(vegetative Teile) 1972

$10^{-2} \text{ g S/Gefäß}$ (35 Pflanzen)

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
- 2. " " " " " " " " " " " "
- + 3. " " " " " " " " " " " "
- x- 4. " " " " " " " " " " " "
- 5. " " " " " " " " " " " "
- △- 6. " " " " " " " " " " " "

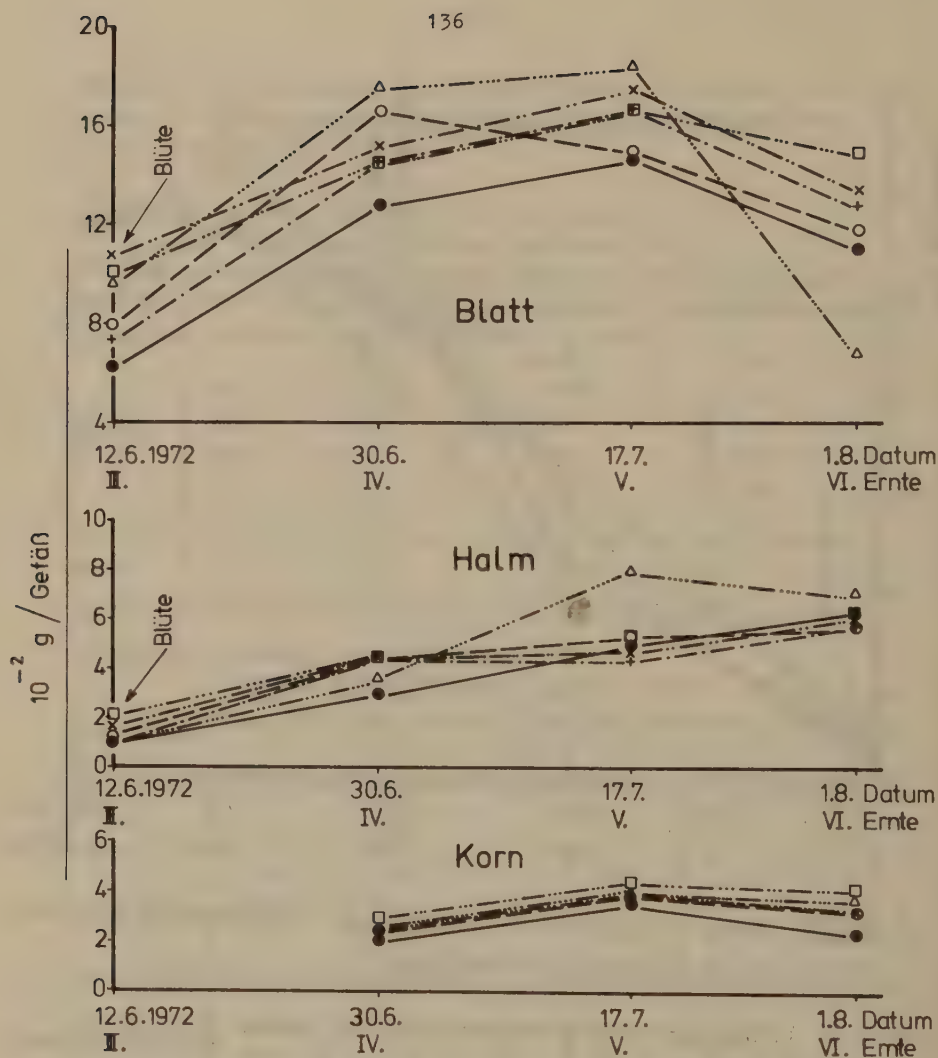


Abb.57: Anorg. gebundene Schwefelmengen bei Hafer 1972
 $10^{-2} \text{ g S / Gefäß}$ (35 Pflanzen)

- 1. Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten
 - 2. " " " " " " " " " " " "
 - 3. " " " " " " " " " " " "
 - 4. " " " " " " " " " " " "
 - 5. " " " " " " " " " " " "
 - 6. " " " " " " " " " " " "
- ohne Beschattung
- 800
- Hattersheim ca. 3 km entfernt
- Rauisch-Holzhausen

Für die Ertragskomponenten "Halm" ergeben sich für die beiden Bindungsformen kaum Unterschiede. Während im "Korn" die in anorganischer Bindung gefundenen Schwefelmengen erwartungsgemäß gering bleiben, sind sie im "Blatt" 3- bis 4-fach größer als die organisch gebundenen Mengen. Der schwache Abfall am Ende der Kornbildungsphase deutet wiederum die Umlagerung innerhalb der Pflanze an, einschließlich der Überführung in die organische Bindung im "Korn". Dies kommt auch in den errechneten Summenwerten (s. Tab. 63 und Abb. 58) für den anorganisch gebundenen Schwefel zum Ausdruck.

Tabelle 63 : Anorg. gebundene Gesamtschwefelmengen
in 10^{-2} g/35 Pflanzen bei Hafer 1972

Mate- rial	Ernte	1.St.Ort im Schatten	2.St.Ort 400 m entfernt	3.St.Ort 400 m entfernt	4.St.Ort 800 m entfernt	5.St.Ort 3 km entfernt	6.St.Ort in R.-H.*
Gesamt- pflanze	I.	1,30	1,50	1,45	1,60	2,10	1,20
	II.	5,90	5,60	7,20	7,70	8,90	5,70
	III.	7,40	9,30	8,60	12,50	12,00	11,10
	IV.	17,90	23,30	22,60	21,60	21,90	23,80
	V.	24,30	23,60	-	26,00	26,10	30,60
	VI.	19,90	20,70	-	22,70	25,10	17,90

* R.-H. = Rauisch-Holzhausen

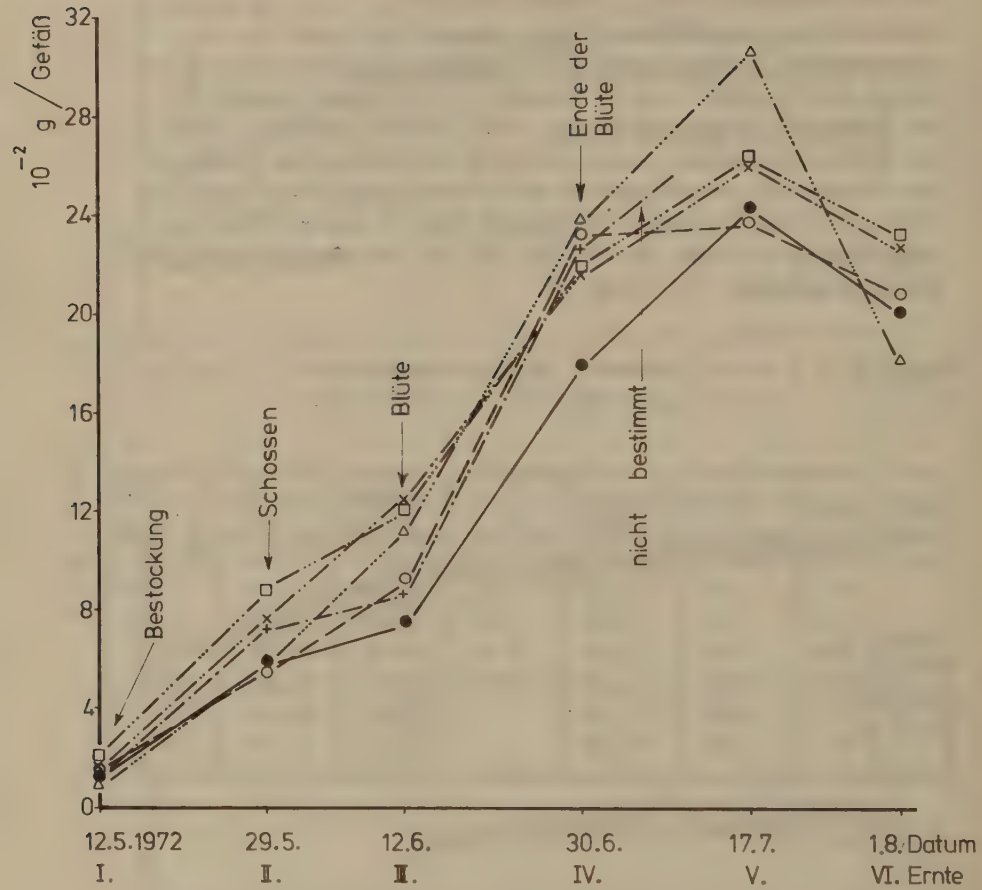


Abb. 58 : Anorg. gebundene Gesamtschwefelmengen in der Gesamtpflanze (Blatt, Halm und Korn) bei Hafer 1972

$10^{-2} \text{ g S / Gefäß (35 Pflanzen)}$

- | | | |
|------|----|---|
| ●— | 1. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| ○--- | 2. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, ohne Beschattung |
| +--- | 3. | Standort, 800 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| x--- | 4. | Standort, 800 m entfernt vom Emittenten, ohne Beschattung |
| □--- | 5. | Standort, Hattersheim ca. 3 km entfernt, im Schatten |
| △--- | 6. | Standort, Rauisch-Holzhausen, ohne Beschattung |

Abgesehen davon, daß infolge der geringen Ernten der 1971 angebauten Buschbohnen die Werte für die Schwefelmengen niedrig bleiben, herrscht in den beiden letzten Ernten die Fraktion organisch gebundenen Schwefels vor (s. Tab. 64). Der Abfall der Gehaltskurven für organisch gebundenen Schwefel in Abbildung 40 ist auf den Ertragszuwachs zurückzuführen.

Tabelle 64 : Schwefelmengen in 10^{-2} g/3 Pflanzen
bei Buschbohnen 1971

	Material	Ernte	1.Standplatz im Schatten	2.Standplatz ohne Beschattung	3.Standplatz im Halbschatten
org. geb.	Gesamt- pflanze	I.	0,25	0,26	0,33
		II.	0,30	0,87	0,33
		III.	1,13	2,40	1,32
		IV.	0,75	2,60	2,23
anorg. geb.		I.	0,05	0,05	0,05
		II.	0,05	0,10	0,08
		III.	0,11	0,28	0,40
		IV.	0,14	0,48	0,60

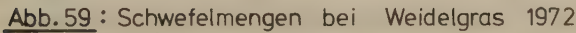
Da bei Weidelgras nur vegetative Pflanzenteile geerntet wurden, fiel hier eine stärkere Einlagerung für organisch gebundenen Schwefel aus, so daß die Werte für anorganisch gebundenen Schwefel den Hauptanteil ausmachten. Die Mengen entsprechen etwa den Blattwerten des Haferblattes. Die Kurven verlaufen entsprechend den Erträgen und den Gesamtschwefelmengen in den 4 Schnitten (s. Tab. 65 und Abb. 59).

Tabelle 65 : Schwefelmengen in 10^{-2} g/Gefäß
bei Weidelgras 1972

Schnitt		1.St.Ort im Schatten	2.St.Ort 400 m entfernt	3.St.Ort 400 m entfernt	4.St.Ort 800 m entfernt	5.St.Ort 3 km entfernt	6.St.Ort in R.-H. *
org. geb.	I.	1,50	1,30	1,35	1,95	1,35	2,70
	II.	2,35	3,10	3,40	3,00	3,20	3,70
	III.	3,40	3,60	3,00	3,30	3,30	5,30
	IV.	2,30	2,70	2,70	3,00	3,60	3,20
	Summe	9,55	10,70	10,45	11,25	11,45	14,90
anorg. geb.	I.	4,55	3,80	4,25	5,00	4,70	7,50
	II.	11,35	12,10	12,55	12,10	13,10	14,70
	III.	13,20	11,40	11,60	12,00	12,70	16,10
	IV.	8,75	9,20	10,65	11,70	13,10	13,00
	Summe	37,85	36,50	39,05	40,80	43,60	51,30

* R.-H. = Rauisch-Holzhausen

Grundsätzlich liegen den für die Schwefelfractionen gefundenen Relationen die allgemein in der Pflanzenphysiologie bekannten Gesetzmäßigkeiten zugrunde (ROLAND 1958). Die Analyseergebnisse stehen in Übereinstimmung mit den Versuchen, die MOTHES (1939), ERGLE u. EATON (1951), THOMAS (1964), SAALBACH (1964) und FALLER (1968) durchführten. Sie konnten feststellen, daß ein Teil des aufgenommenen Schwefels in der Pflanze reduziert und in organische Verbindungen eingebaut und der Rest als Sulfat deponiert wird. Nach MARSCHNER u. MICHAEL (1960) beteiligt sich diese Fraktion wenig am Stoffwechsel der Pflanze, wird aber nach Bedarf der Pflanze bei eintretendem Schwefelmangel herangezogen.

 $10^{-2} \text{ g S / Gefäß}$

- | | |
|----|--|
| 1. | Standort, 400 m entfernt vom Emittenten, im Schatten |
| 2. | " " " " " " " " ohne Beschattung |
| 3. | " " " " " " " " " " " " |
| 4. | " " " " " " " " " " " " |
| 5. | " " " " " " " " " " " " |
| 6. | " " " " " " " " " " " " |

Bei den Untersuchungen, die SAALBACH, KESSEN und JUDEL (1961) mit Grünrapr durchführten, konnte noch eine Ertragszunahme mit 0,4 % Sulfatschwefel festgestellt werden. Für Sommerraps gibt MARQUARD (1967) einen Grenzwert von 0,5 % Sulfatschwefel an.

Jedenfalls ist nach Ansicht von SAALBACH (1964) unter den verschiedenen S-Fractionen gerade der Sulfatgehalt der Pflanze als ein sicheres Kriterium zur Beurteilung des Schwefelversorgungsgrades maßgebend.

Mit den gemachten Darlegungen ist die Fragestellung dieser Arbeit verhältnismäßig eindeutig zu beantworten. Durch SO_2 -Einwirkung hervorgerufene Schadensfälle lassen sich nicht nachweisen. Diese Feststellung trifft für beide Versuchsjahre, die verschiedenen Expositionen bzw. Standorte und die geprüften Versuchspflanzen zu. Wenn zwischen dem Bezugsstandort Rauisch-Holzhausen und teilweise auch dem 3 km entfernten Standort Hattersheim Unterschiede in den Erträgen zu verzeichnen waren, so können diese aufgrund der sonstigen Befunde nicht auf eine spezifische SO_2 -Beeinflussung zurückgeführt werden. Vielmehr können Unterschiede in der Versuchsanstellung bzw. Wasserversorgung für diese Differenzen angeführt werden. Der Kurvenverlauf der verschiedenen Schwefelfractionen einerseits und der Verlauf der Gesamtschwefelaufnahme andererseits wurden im wesentlichen durch die Ertragsbildung geprägt.

5. Zusammenfassung und Schlußbetrachtung

In den Jahren 1971 und 1972 wurden Gefäßversuche über den Einfluß der SO_2 -Immission auf Wachstum und Inhaltsstoffe verschiedener Kulturpflanzen im unmittelbaren Bereich einer entsprechenden Emissionsquelle durchgeführt. Die Exposition der Gefäße wurde variiert, indem die Aufstellung bei verschiedener Beschattung durch Gehölze und in verschiedener Entfernung von der Emissionsquelle erfolgte. Außerdem wurde ein Vergleich mit der Aufstellung auf dem entfernten Standort Rausch-Holzhausen durchgeführt. Zur Beurteilung der SO_2 -Aufnahme wurden die Versuchspflanzen auf ihren Gehalt an verschiedenen S-Fractionen analysiert und gleichzeitig der Gehalt an Roh- und Reinprotein bestimmt. Die Versuchsergebnisse lassen sich im einzelnen wie folgt zusammenfassen:

1. In beiden Jahren zeigten die Versuchspflanzen ein ungestörtes Wachstum mit Ausnahme von Buschbohnen und Hafer im Jahre 1971. Bei Buschbohnen war das Wachstum wegen einer zu geringen Gabe Startstickstoff stark gehemmt und der starke Ertragsabfall bei Hafer von der V. Ernte an war auf Kornverluste durch Vogelfraß und auf Blattverluste zurückzuführen. Phänomenologisch waren in allen anderen Fällen keine sichtbaren Schädigungen in Form von Blattnekrosen u.a. festzustellen.
2. Das Ertragsniveau steht bei allen Versuchspflanzen in direkter Abhängigkeit mit der Beschattung und der vollen Einstrahlung. Die bei verschiedenen Beschattungen aufgestellten Gefäße erbrachten gegenüber der Aufstellung "volle Einstrahlung" Mindererträge. Diese sind auf Lichtmangel zurückzuführen, zumal ein Zusammenhang mit einer SO_2 -Auswirkung nicht nachweisbar war. Die im 2. Versuchsjahr durchgeführte differenzierte Aufstellung in verschiedenen Entfernungen von der Emissionsquelle führte zu gewissen Ertragsunterschieden, welche aufgrund der durchgeführten Analysen

nicht auf die SO_2 -Einwirkung, sondern auf die Gestaltung der übrigen Wachstumsfaktoren und insbesondere den Wasserhaushalt zurückzuführen waren. Die Versuchsergebnisse haben weder eine sichtbare Schädigung in Form von Blattnekrosen noch Ertragsdepression bei den Versuchspflanzen im Laufe der Vegetation in beiden Jahren erkennen lassen.

3. Der Gesamtschwefelgehalt liegt nach den Analyseergebnissen in beiden Jahren unterhalb 0,6 % der ATM und somit in dem Bereich, der von van HAUT (1972) als natürliche Schwefelwerte für Getreide angegeben wird. Andererseits kann mit Bezug auf die Ergebnisse verschiedener Autoren (SAALBACH 1970, 1972) nicht von Schwefelmangel gesprochen werden. Der Gesamtverlauf der Gehaltskurven ist nahezu identisch mit dem Verlauf der Gehaltskurven des anorganisch gebundenen Schwefels.
4. Somit ist die Schwefelaufnahme (Gesamtschwefel) in erster Linie von der Ertragsleistung der Versuchspflanzen abhängig.
5. Der Gehalt an organisch gebundenem Schwefel weist nur geringe, nicht zu bewertende Unterschiede in Abhängigkeit von der Beschattung bzw. vollen Einstrahlung auf. Dasselbe gilt auch für die 6 Standorte. Im Laufe der Vegetation zeigen die Gehaltskurven im vegetativen Material mit fortschreitendem Wachstum in beiden Versuchsjahren einen Abfall, der mit fortschreitendem Massenertrag auf einen Verdünnungseffekt zurückzuführen ist. Dagegen steigt im Korn der Gehalt an, bedingt durch die zunehmende Proteineinlagerung.
6. Der anorganisch gebundene Schwefel zeigt kaum Reaktionen auf die Beschattung bzw. volle Einstrahlung. Im Laufe der Vegetation ergeben sich typische Gehaltskurven, deren Verlauf von denjenigen des organisch gebundenen Schwefels abweicht. Im Verlauf der Vegetation findet ein Abfall statt,

während am Ende der Vegetation wieder eine Zunahme festzustellen ist. Die Erklärung ergibt sich wiederum aus der Ausbildung der Trockenmasse. Aus diesem Grunde sind die Gehaltszahlen auf dem Kontrollstandort Rauisch-Holzhausen niedriger.

7. Bei den Roh- und Reinproteingehalten ergeben sich keine Beziehungen zu den Versuchsvarianten der unterschiedlichen Beschattung. Zwischen den Standorten treten nur geringe Unterschiede auf, die am stärksten in der Kornfraktion auf dem Bezugsstandort zutage treten, indem aufgrund des hohen Ertrages die Proteingehalte gegenüber den übrigen Standorten etwas abfallen. Die Gehaltsskurven zeigen im Laufe der Vegetation in beiden Jahren einen Abfall.

Die Erträge an Roh- und Reinprotein verhalten sich entsprechend. Der für Rohprotein errechnete Schwefelgehalt wird durch die Varianten nicht beeinflusst.

8. Eine ausführliche Diskussion unter Einschluß der in der Literatur erschienenen Daten führen zu der Schlußfolgerung, daß in den vorliegenden Experimenten eine Schädigung von Wachstum und Ertragsbildung nicht nachweisbar sind.

- Berge, H. und
H. Dahman : Die Anwendungsmöglichkeiten der chemischen Luft- und Pflanzenanalyse zur Beurteilung industrieller Immissionen. Forsch.-B. d. Landes NRW Nr. 821 (1959) S. 1 - 58
- Bretschneider, B. : Untersuchungen über den Einfluß von Lichtintensität und Tageslänge auf den Ertrag von Hafer (*Avena sativa*) unter klimatisch kontrollierten Bedingungen. Angew. Bot. 41 (1967) S. 38 - 51
- Brocke, W. und
H. Schade : Die Luftverunreinigung durch Abgase aus der Verbrennung von Brennstoffen in stationären Anlagen der Bundesrepublik Deutschland. I. Teil Staub Reinhalt.-Luft 31 (1971) S.473-478
- Buchner, A. : Die Schwefelernährung der westdeutschen Landwirtschaft. Landw. Forsch. 11 (1958) S. 79-92
- Buck, M. : Geeignete Methoden zur Bestimmung des Gesamtschwefelgehaltes pflanzlicher Substanzen. Landw. Forsch. 15 (1962) S. 135-145
- Dijkshoorn, W.,
J.E.M. Lampe und
P.F.J. van Burg : A method of diagnosing the sulphur nutrition status of herbage. Plant and Soil 13 (1960) S. 227-241
- Drover, D.P. : Accessions of sulphur in the rainwater at Perth and Nedlands, Western Australia. J. of Roy. Soc. Western Australia 43 (1960) S. 81-82
- Eaton, S.V. : Influence of sulphur deficiency on the metabolism of the soybean. Bot. Gaz. 97 (1935) S. 68-100

- Egle, K. : Die Analyse der Schwefeldioxidwirkung auf Pflanzen in Naturexperiment und Laboratoriumsversuch.
Staub 21 (1961) S. 51-52
- Egnér, H. : Die Bedeutung der Schwefelverbindungen in der Luft für die Bodenfruchtbarkeit.
Agrochimica IX (1965) S. 133-140
- Ergle, D.R. and F.M. Eaton : Sulphur nutrition of cotton.
Plant Physiol., Lancaster 26 (1951)
S. 630-654
- Eriksson, E. : The yearly circulation of chloride and sulphur in nature; meteorological, geochemical and pedological implications.
Tellus, 11:4 and 12:1 (1959/60).
- Eriksson, E. : The yearly circulation of sulphur in nature.
J. of Geophys. Res. 68 (1963) S. 27-31
- Faller, N. : Der Schwefeldioxidgehalt der Luft als Komponente der Schwefelversorgung der Pflanze.
Diss., Gießen 1968
- Faller, N., K. Herwig und H. Kühn : Die Aufnahme von Schwefeldioxid ($S^{35}O_2$) aus der Luft.
I. Einfluß auf den pflanzlichen Ertrag.
Plant and Soil 33 (1970) S. 177-191
- Fischer, A. : Geschichte des Deutschen Gesundheitswesens.
I., Berlin 1933
- Fried, M. : The absorption of sulphur-dioxide by plants as shown by the use of radioactive sulphur.
Soil Sci. Soc. Am. Proc. 13 (1958)
S. 135-138

- Garber, K. : Luftverunreinigung und ihre Wirkungen.
Gebrüder Bornträger, Berlin-Nikolassee
1967
- Georgii, H.-W. : Die Belastung der Großstadtluft mit
gasförmigen Luftverunreinigungen.
Umschau Wiss. Techn. 63 (1963) S. 757-762
- Georgii, H.-W. und
E. Weber : The chemical composition of individual
rainfalls.
Techn. Note, Contract, AF 61 (052)-249,
Frankfurt/M., 1960
- Grote, W. und
H. Krekeler : Die quantitative Bestimmung von Schwefel
und Halogen in verbrennlichen Stoffen.
Angew. Chemie 46 (1933) S. 106-109
- Guderian, R. : Zur Methodik der Ermittlung von SO₂-
Toleranzgrenzen für land- und forstwirt-
schaftliche Kulturen im Freilandversuch
Biersdorf (Sieg).
Staub 20 (1960) S. 334-337
- Guderian, R. : Ergebnisse aus dem Freilandversuch Biers-
dorf/Sieg zur Ermittlung von Schwefeldi-
oxidwirkung auf die Vegetation.
Staub 21 (1961) S. 60-61
- Guderian, R. : Luftverunreinigungen und Pflanzenschutz.
Z. Pfl.-Krankh. und Pfl.-Schutz 73 (1966)
S. 241-265
- Guderian, R. : Untersuchungen über quantitative Bezie-
hungen zwischen dem Schwefelgehalt von
Pflanzen und dem Schwefeldioxidgehalt
der Luft. I. Teil
Z. Pfl.-Krankh. und Pfl.-Schutz 77 (1970)
S. 201-220
- Guderian, R.,
H. van Haut und
H. Stratmann : Probleme der Erfassung und Beurteilung
von Wirkungen gasförmiger Luftverunrei-
nigungen auf die Vegetation.
Z. Pfl.-Krankh. und Pfl.-Schutz 67 (1960)
S. 254-264

- Guderian, R. und
H. Stratmann : Freilandversuche zur Ermittlung von
Schwefeldioxidwirkung auf die Vegetation.
I. Teil: Übersicht zur Versuchsmethodik
und Versuchsauswertung.
Forsch.-B. d. Landes NRW Nr. 1118 (1962)
S. 1-102
- Guderian, R. und
H. Stratmann : III. Teil: Grenzwerte schädlicher SO₂-
Immissionen für Obst- und Forstkulturen
sowie für landwirtschaftliche und gärt-
nerische Pflanzenarten.
Forsch.-B. d. Landes NRW Nr. 1920 (1968)
S. 1-114
- Guderian, R. und
H. van Haut : Nachweis von SO₂-Wirkungen an Pflanzen.
Staub Reinh.-Luft 30 (1970) S. 1-10
- Haselhoff, E. : Grundzüge der Rauchschaadenskunde
Gebrüder Bornträger, Berlin 1932
- van Haut, H. : Die Analyse von SO₂-Wirkungen auf Pflan-
zen im Laboratoriumsversuch.
Staub 21 (1961) S. 52-56
- van Haut, H. : Nachweis mehrerer Luftverunreinigungs-
komponenten mit Hilfe von Blätterkohl
(Brassica oleracea acephala) als Indi-
katorpflanze.
Staub Reinh.-Luft 32 (1972) S. 109-111
- van Haut, H. und
H. Stratmann : Experimentelle Untersuchungen über die
Wirkung von SO₂ auf die Vegetation.
Forsch.-B. d. Landes NRW Nr. 884 (1960)
S. 1-63
- Herrmann, G. : Beiträge zur Bestimmung von SO₂ in der
Atmosphäre und Herstellung von SO₂-
Luftgemischen.
Akademie-Verlag, Berlin 1972
- Jäger, H.-J. und
L. Steubing : Fraktionierte Schwefelbestimmung in
Pflanzenmaterial zur Beurteilung einer
SO₂-Einwirkung.
Angew. Bot. 44 (1970) S. 209-221

- Jügel, E. : Staubbiederschlagsmessungen in Hamburg.
Diss. Hamburg 1960
- Junge, Ch. : Air chemistry and radioactivity.
New York and London, Academic Press 1963
- Kirschbau, U. und R. Klee : Flechtenexplantate und natürliche Flechtenvorkommen.
Regionale Planungsg. Untermain FFm
2. Arbeitsbericht (1971)
- Kirschbau, U., R. Klee und L. Steubing : Flechten als Indikatoren für die Immissionsbelastung im Stadtgebiet von Frankfurt/M.
Staub Reinh.-Luft 31 (1971) S. 21-24
- Klapp, E. : Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues.
Paul Parey Verlag, Berlin und Heidelberg 1967
- Klee, R. : Die Wirkung von gas- und staubförmigen Immissionen auf Respiration und Inhaltsstoffe von *Parmelia physodes*.
Angew. Bot. 44 (1970) S. 253-261
- Klee, R. und A. Warns : Aussagewert von Flechtenexplantaten für eine Immissionsbelastung.
Ber. Dtsch. Bot. Ges. 84 (1971) S. 515-522
- Kurmies, B. : Über den Schwefelhaushalt des Bodens.
Phosphorsäure 17 (1957) S. 258-278
- Linser, H. : Das Wachstum lebender Systeme.
Umschau Wiss. Techn. 12 (1967) S. 381-387
zit.: Marquard, R., Diss., Gießen 1967
- Mam, H.H. : Variations of sulfur in soils under continuous grain crop.
J. of Soil Sci. 6 (1957) S. 241-247

- Marquard, R. : Der Einfluß der Schwefelernährung auf Senf- und Lauchölgehalt, sowie die Ertragsbildung bei einigen Pflanzen aus den Familien der Cruziferen, Tropaeolaceen und Liliaceen.
Diss., Gießen 1967
- Marschner, H. und G. Michael : Untersuchungen über Schwefelabscheidung und Sulfataustausch an Weizenwurzeln.
Z. Pfl.-Ernährung, Düng., Bodenkde. 21 (1960) S. 29-44
- Mengel, K. : Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze.
3. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1968
- Mothes, K. : Über den Schwefelstoffwechsel der Pflanzen.
II. Planta, Berlin 29 (1939) S. 67-109
- Nehring, K. : Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden für Dünge- und Futtermittel, Böden und Milch.
Paul Parey Verlag, Hamburg, Berlin 1960
- Olsen, T. : Absorption of SO_2 from the atmosphere by cotton-plants.
Soil Sci. 84 (1957) S. 107-111
- Ottar, B. : Saure Niederschläge in Skandinavien.
Umschau Wiss. Techn. 72 (1972) S. 290-291
- Riehm, H. : Pflanzennährstoffe in den atmosphärischen Niederschlägen unter besonderer Berücksichtigung des Schwefels.
V. Simposio Internazionale di Agrochimica Palermo, 16-21 Marzo 1964
- Rose und Hawksworth : Flechten als Indikatoren der Luftverschmutzung.
Müll Abfall Abwasser 5 (1971) S. 29
- Ruhland, W. : Handbuch der Pflanzenphysiologie, Bd.9. Der Stoffwechsel der schwefel- und phosphorhaltigen Verbindungen.
Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1958

- Saalbach, E. : Zur Bestimmung des Schwefelversorgungsgrades von Böden und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen.
Landw. Forsch. 17 (1964) 18. Sonderh.; S. 84-90
- Saalbach, E. : Sulphur requirements and sulphur removals of the most important agricultural crops. Symposium international sur le Soufre en Agriculture.
Versailles, 3.-4.12.1970, S. 21-55
- Saalbach, E. : Über den Schwefelbedarf landwirtschaftlicher Nutzpflanzen.
Landw. Forsch. 25 (1972) S. 224-229
- Saalbach, E.,
G. Kessen und
G.K. Judel : Über den Einfluß von Schwefel auf den Ertrag und die Eiweißqualität von Futterpflanzen.
Z. Pfl.-Ernährung, Düng., Bodenkde. 23 (1961) S. 18-26
- Schmalfuss, K. : Zur Kenntnis der Schwefelernährung der Pflanzen.
Z. Pfl.-Ernährung, Düng., Bodenkde. 106 (1964) S. 116-127
- Schönbeck, H. : Einfluß von Luftverunreinigungen (SO_2) auf transplantierte Flechten.
Naturwiss. 55 (1968) S. 451-452
- Schönbeck, H. : Eine Methode zur Erfassung der biologischen Wirkung von Luftverunreinigungen durch transplantierte Flechten.
Staub Reinh.-Luft 29 (1969) S. 14-18
- Schönbeck, H.,
M. Buck et al. : Biologische Meßverfahren für Luftverunreinigungen.
VDI-Berichte Nr. 149 (1970) S. 225-234
- Schwanecke, R. : Wird das SO_2 -Problem der Luftreinhaltung durch Entschwefelung des Heizöls gelöst?
Luftverunreinigung (1971) S. 12-16

- Steubing, L. : Untersuchungen zu Immissionskomplexwirkungen im Untermaingebiet im Pflanzentest.
Regionale Planungsg. Untermain FFm Arbeitsb. (1970) 2. Aufl.
- Steubing, L. : Immissionskataster als Bestandteil des Landschaftskatasters.
Natur und Landschaft 48 (1973) S. 39-43
- Steuer, Ch. : Wenn Abgase auch den Bäumen zuviel werden.
Deutscher Forsch.-Dienst 19 (1972) S. 10-11
- Stewart, B.A. and L.K. Porter : Nitrogen-sulfur relationships in wheat (*Triticum aestivum* L.), corn (*Zea mays*), and beans (*Phaseolus vulgaris*).
Agron. J. 61 (1969) S. 267-271
- Stöckhardt, A. : Über die Einwirkung des Rauches von Silberhütten auf die benachbarte Vegetation.
Polyt. Centr.-Bl. (1850) S. 257-258
- Stöckhardt, A. : Untersuchungen über die schädliche Einwirkung des Hütten- und Steinkohlenrauches auf das Wachstum der Pflanzen, insbesondere der Fichte und Tanne.
Tharandter forstl. Jahrb. (1871) S. 218
- Stoklasa, J. : Die Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabrikexhalationen.
Urban und Schwarzenberg Verlag, Berlin-Wien 1923
- Stratmann, H. : Freilandversuche zur Ermittlung von SO₂-Wirkungen auf die Vegetation.
II. Teil: Messung und Bewertung der SO₂-Immissionen
Forsch.-B. d. Landes NRW Nr. 1184 (1963) S. 1-69
- Stratmann, H. : Luftverunreinigung nimmt zu.
VDI-Nachrichten Nr. 52 (1971) S. 13

- Thomas, M.D. : Auswirkungen der Luftverunreinigung auf Pflanzen.
Chemie Verlag, Weinheim/Berstr. 1964
- Wickbold, R. : Die photometrische Trübungstitration zur Bestimmung kleinster Sulfatmengen.
Angew. Chemie 65 (1953) S. 159-161
- Zahn, R. : Wirkungen von SO_2 auf die Vegetation, Ergebnisse aus Begasungsversuchen .
Staub 21 (1961) S. 56-60
- Zahn, R. : Über den Einfluß verschiedener Umweltfaktoren auf die Pflanzenempfindlichkeit gegenüber SO_2 .
Z. Pfl.-Krankh. und Pfl. Schutz 70 (1963) S. 81-95
- Zieger, E. : Die heutige Bedeutung der Industrie-Rauchs Schäden für den Wald.
Wissenschaft. Z.d. TH Dresden 4 (1954/55) S. 499-505

An dieser Stelle möchte ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Dr. h.c. E. von Boguslawski, für die Überlassung des Themas und für seine wertvollen Anregungen und Förderungen, die er mir zuteil werden ließ, meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Frau Professor Dr. L. Steubing (Gießen) und Herrn Professor Dr. K. Kirchner (DECHEMA, Frankfurt/M.) bin ich für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse, für die zahlreichen wertvollen Ratschläge und für die technische Hilfe bei den Untersuchungen zu besonderem Dank verpflichtet.

Der Deutschen Gesellschaft für chemisches Apparatewesen (DECHEMA) in Frankfurt/M. danke ich herzlich für die finanzielle Unterstützung, dabei gilt mein besonderer Dank Herrn Professor Dr. D. Behrens.

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. R. Zahn (Farbwerke Hoechst AG, Frankfurt/M.), Herrn Dr. G. Fischer (Versuchsgut Posthof der Farbwerke Hoechst AG) und Herrn Dr. C. Hülsenberg (Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Versuchsfeld Hattersheim), die mir die Durchführung eines Vegetationsversuches auf dem Versuchsgut der Farbwerke Hoechst AG in der Versuchsstation Hattersheim ermöglichten.

Ebenso danke ich Fräulein Dr. G. Lach für die Überwachung der praktischen Durchführung des Gefäßversuches.

Herrn Dr. R. Marquard danke ich besonders für seine ständige Hilfsbereitschaft und die Unterstützung bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Weiterhin gilt mein Dank allen Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung und den Mitarbeitern des DECHEMA Instituts für die freundliche Hilfe.

LEBENS LAUF

Am 14.2.1932 wurde ich als Sohn des Kaufmanns Gholam Ali Boluri und seiner Ehefrau Soghra in Rascht/Iran geboren. Im Jahre 1948 habe ich nach dem Besuch von Abendkursen die Prüfung für Grundschule und im Jahre 1951 auf die gleiche Weise die Prüfung für mittlere Reife in Rascht abgelegt. Die Abiturprüfung erfolgte im Jahre 1959 ebenfalls nach dem Besuch von Abendkursen in Teheran.

Im Jahre 1960 kam ich nach Deutschland und studierte von 1960 bis 1964 an der Technischen Hochschule Karlsruhe im Fachbereich Vermessungswesen.

Im Jahre 1965 bewarb ich mich an der Justus Liebig-Universität Gießen zum Studium für Landwirtschaft, ohne die Prüfungen zum Vordiplom an der TH Karlsruhe abgelegt zu haben. Im Sommersemester 1965 besuchte ich den Deutschsprachkurs der Universität Gießen. Nach dem Vordiplom im Sommersemester 1968 erfolgte das sechsmonatige Praktikum bei dem landwirtschaftlichen Betrieb von A. van Kaick in Offenbach am Main, Rumpenheim.

Im Juni 1970 bestand ich die Diplomprüfungen und seit August 1970 bin ich Doktorand am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Justus Liebig-Universität Gießen.

FOTO-DRUCK LENZ · 63 Gießen · Riegelpfad 32/Ecke Ludwigstraße
Telefon 0641-77449